



М. М. ЭФРУССИ

СЛУХОВЫЕ АППАРАТЫ И АУДИОМЕТРЫ

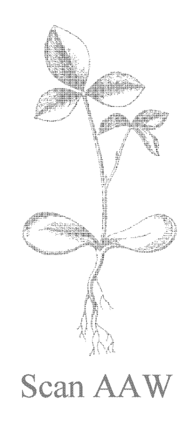


МАССОВАЯ
РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 901

М. М. ЭФРУССИ

СЛУХОВЫЕ АППАРАТЫ И АУДИОМЕТРЫ





«ЭНЕРГИЯ»
Москва 1975

6Ф2.7
Э 94
УДК 621.395.92

Эфрусси М. М.

Э 94 Слуховые аппараты и аудиометры. М., «Энергия», 1975.

96 с. с ил. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 901).

В книге описываются аудиометры — электроакустические приборы для измерения остроты слуха и исследования слуховой функции — и слуховые аппараты — миниатюрные звукоусилительные устройства, предназначенные для лиц с пониженным слухом. Приводятся схемы, электрические и акустические данные слуховых аппаратов. Описываются микрофоны и телефоны воздушной и костной проводимостей. Приводятся основные сведения по проверке слуховых аппаратов и оценке их эффективности.

Книга рассчитана на массового читателя, а также может быть полезна специалистам, работающим в области аудиологии и слухового протезирования.

Э $\frac{30404\text{-}626}{051(01)\text{-}75}$ 349-75 6Ф2.7

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ

Миллионы людей, потерявшие по разным причинам способность нормально слышать, приобщены к трудовой и общественной деятельности с помощью слуховых аппаратов.

Современный слуховой аппарат представляет собой миниатюрное звукоусилительное устройство, в котором воплощены последние достижения электроакустики и радиоэлектроники. Выпуск слуховых аппаратов в настоящее время в ряде стран составляет внушительную цифру. Так, например, США выпускают 275—350 тыс. аппаратов в год, Дания выпускает аппараты 26 моделей. Однако литературы о слуховых аппаратах пока еще мало. Это усложняет правильную их эксплуатацию и затрудняет ремонт.

В предлагаемой вниманию читателей книге кратко рассказывается о слухе и его поражениях, устройстве и особенностях слуховых аппаратов и аудиометров, а также современном состоянии техники протезирования слуха и ее возможностях. Кроме того, в ней описываются различные слуховые аппараты и приводятся их схемы.

Располагая сведениями об устройстве и эксплуатации слуховых аппаратов, их подборе и акустических свойствах, радиолюбители смогут оказать помощь их владельцам консультацией и ремонтом.

Автор

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Звуковое давление — разность между статическим (атмосферным) давлением и давлением в данной (рабочей) точке звукового поля.

Единица звукового давления — Паскаль (1 Па=1 Н/м²).

Интенсивность (сила) звука — среднее количество звуковой энергии проходящей в единицу времени через единичную площадку, расположенную перпендикулярно направлению распространения звуковой волны (1 Вт/м²). Интенсивность звука пропорциональна квадрату звукового давления.

Частота — количество колебаний в секунду (Гц).

Фаза — стадия движения колеблющейся частицы или тела относительно какого-либо положения, принятого за начальное. Выражается в градусах или радианах.

Чистый тон — звук, создаваемый синусоидальным акустическим колебанием.

Шум — неприятный или нежелательный звук случайного характера, не содержащий ясно выраженных частотных составляющих.

Белый шум — сложный звук, спектр которого (измеренный анализатором с постоянной шириной полосы частот) будет непрерывной гладкой функцией частоты в достаточно широком диапазоне.

Спектр акустический — характеристика звука, выражающая распределение энергии звука по частоте; получается в результате анализа (измерения) звука.

Интерференция — взаимодействие двух или более звуковых волн, одновременно приходящих в данную точку, приводящее к ослаблению или усилению интенсивности звука (в зависимости от разности фаз между ними).

Свободное звуковое поле — звуковое поле, в котором влияние отражающих поверхностей пренебрежимо мало.

Дифракция — изменение направления распространения звуковой волны, вызванное прохождением ее около какого-либо препятствия.

Уровень — величина акустического или электрического сигнала, выраженная в децибелах.

Октава — интервал (полоса) частот, в котором отношение большей частоты к меньшей равно двум.

Динамический диапазон — отношение максимального значения какой-либо изменяющейся физической величины к минимальному. В акустике динамический диапазон — разность уровней, соответствующих самому громкому и самому тихому звукам; динамический диапазон речи равен 25—35 дБ.

Бинауральный эффект — способность определять направление на источник звука при слушании двумя ушами.

Стереофония — воспроизведение звука с помощью многоканальной системы звукопередачи.

Чувствительность микрофона — отношение напряжения холостого хода на выходе микрофона к звуковому давлению, действующему на микрофон (мВ/Па).

Чувствительность телефона — отношение звукового давления, создаваемого телефоном в ухе (или его акустическом эквиваленте), к напряжению на зажимах телефона (Па/мВ).

Частотная характеристика чувствительности — график зависимости чувствительности от частоты.

Неравномерность частотной характеристики чувствительности — отношение максимального значения чувствительности к минимальному в номинальном диапазоне частот (дБ).

Номинальный диапазон частот — диапазон частот, в котором определяют параметры акустического прибора (обусловлен ГОСТ или техническим документом к данному прибору).

Коэффициент нелинейных искажений — отношение эффективной величины продуктов нелинейного искажения к эффективной величине неискаженного сигнала.

Демпфирование — увеличение механических потерь (потерь на трение) в колебательной системе, ухудшающее ее резонансные свойства.

Аудиология — область знаний о слуховой функции у здоровых и больных, тесно связанная с физиологической и физической акустикой.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОРГАНЕ СЛУХА, ЕГО ОСОБЕННОСТЯХ И ПОВРЕЖДЕНИЯХ

Человеческое ухо является весьма совершенным инструментом, созданным природой, с огромным динамическим диапазоном воспринимаемых интенсивностей звуков (приблизительно равен числу $21 \cdot 10^{12}$), так как минимальное звуковое давление, воспринимаемое открытым ухом на пороге слышимости в свободном звуковом поле, составляет около 0,000013 Па, а максимальное (при болевом пороге) равно приблизительно 60 Па.

Слуховой орган человека состоит из наружного, среднего и внутреннего уха (рис. 1). Наружное ухо содержит ушную раковину и слуховой проход. Последний заканчивается, немного сужаясь, барабанной перепонкой, являющейся границей между наружным и средним ухом. Барабанная перепонка представляет собой пленку толщиной около 0,1 мм и площадью около 80 мм^2, втянутую в сторону среднего уха. Она соединена с косточкой («рукояткой молоточка»), образуя подобие конуса.

Среднее ухо представляет собой воздушную полость внутри височной кости. Эта полость, называемая барабанной, соединяется через канал (евстахиеву трубу) с глоткой, откуда в среднее ухо попадает воздух. Чтобы барабанная перепонка могла беспрепятственно колебаться, необходимо равенство воздушных давлений по обеим ее сторонам; это обеспечивается евстахиевой трубой, через которую при изменении атмосферного давления воздух может входить или выходить.

В среднем ухе находится система косточек («молоточек», «наковальня», «стремя»), с помощью которой колебания барабанной перепонки передаются внутреннему уху. Самая маленькая из этих косточек («стремя») весит 2,5 мг, имеет длину 3 мм, ширину 1,4 и высоту 4 мм.

Внутреннее ухо («лабиринт») состоит из системы трех полукружных каналов, расположенных в трех взаимно перпендикуляр-

ных плоскостях и являющихся только органами равновесия, и органа слухового восприятия, похожего на улитку. Улитка заключена в толстую костяную оболочку и наполнена почти несжимаемой жидкостью — лимфой. В улитке, представляющей собой спирально-свернутый канал, находятся чувствительные окончания слухового нерва в виде клеток с микроскопическими волосками и вблизи них нежная, легко подвижная спирально завитая вдоль ходов улит-

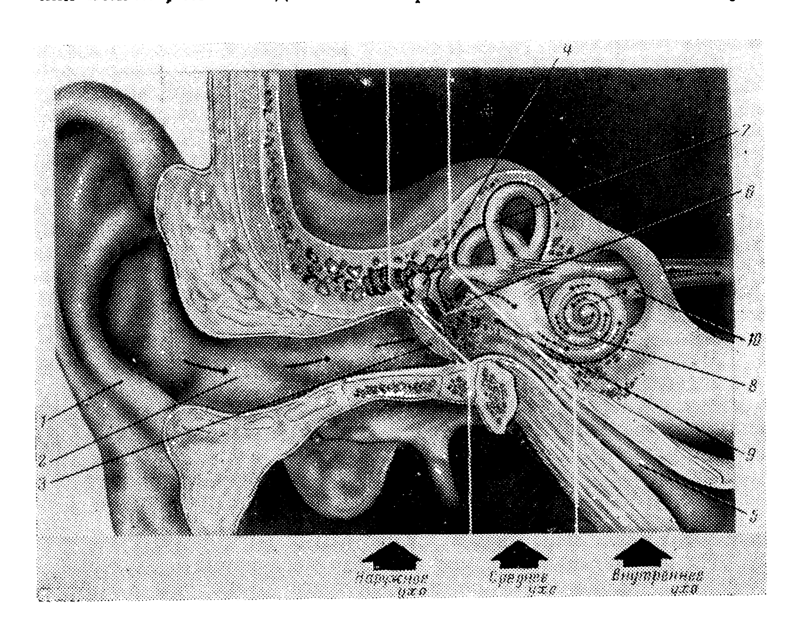


Рис. 1. Строение уха.

1 — ушная раковина; *2* — слуховой проход; *3* — барабанная перепонка; *4* — слуховые косточки; *5* — евстахиева труба; *6* — овальное окно; *7* — полукружные каналы; *8* — улитка; *9* — круглое окно; *10* — слуховой нерв.

ки мембрана, называемая текториальной. Улитка сообщается со средним ухом двумя отверстиями (овальным и круглым окнами), затянутыми упругими перепонками. С перепонкой овального окна соединено «стремя».

Звуковые волны, попадая в слуховой проход, приводят в колебания барабанную перепонку. Таков обычный путь, которым осуществляется прохождение звука. Он носит название воздушной проводимости. Через цепь трех связанных с перепонкой косточек колебательные движения передаются овальному окну и через него жидкости улитки. При этом сила, с какой овальное окно давит на жидкость, благодаря рычажной связи слуховых косточек в 30—50 раз больше силы, воздействующей на барабанную перепонку.

Движения овального окна вызывают через находящуюся в улитке жидкость (подобно тому как действует гидравлический

пресс) обратные по направлению движения круглого окна. Перемещения жидкости улитки при этих движениях вызывают прикосновение волосковых клеток, представляющих окончания слухового нерва, к спирально завитой вдоль ходов улитки легко подвижной текториальной мембране. Взаимные движения этой мембраны и волосковых клеток слухового нерва, вызывающие его раздражение, и обусловливают ощущение и восприятие звука центрами слухового восприятия, находящимися в височных частях коры полушарий головного мозга.

Существует еще одна возможность восприятия звука — через кости черепа. Для прослушивания звука таким путем костям черепа (зубам, лбу или косточке за ухом, носящей название сосцевидного отростка — мастоида) необходимо сообщить механические колебания — звуковые вибрации. Это можно осуществить, приложив к одному из этих мест источник вибраций, например специальный костный телефон, ножку колеблющегося камертона или мембрану телефонной трубки, с которой снята крышка. Это так называемая костная проводимость. При таком способе восприятия звуковые вибрации достигают улитки и вызывают деформацию ее частей, что создает смещение текториальной мембраны. В результате окончания слуховых нервов получают такое же раздражение, как и при обычном восприятии звука (при воздушной проводимости).

Минимальная интенсивность звука, ощущаемая ухом в полной тишине, называется порогом слышимости. Последний зависит от частоты. Область наибольшей чувствительности уха приходится на средние частоты. Значительно меньшей чувствительностью ухо обладает на низших и высших частотах.

Очень большая интенсивность звука вызывает неприятное ощущение в ухе и даже боль. Интенсивность звука, при которой начинается неприятное ощущение, называется порогом болевого ощущения. Этот порог мало зависит от частоты.

На средних частотах ухо способно воспринимать звуковые колебания, отличающиеся по интенсивности более чем в 10^{13} раз (130 дБ).

В области же низших частот, например на частоте 5С Гц, этот диапазон уменьшается до 10^{7} раз (70 дБ). То же самое наблюдается на высших частотах. Для того чтобы лучше представить себе динамический диапазон нашего слуха, на рис. 2 представлены уровни интенсивности различных звуков в децибелах.

Субъективной оценкой интенсивности звука является громкость, характеризующая слуховое ощущение. Однако два звука одинаковой силы (но разной частоты) вследствие неодинаковой чувствительности уха к различным частотам вызывают ощущение различной громкости.

На рис. 3 показано семейство усредненных частотных характеристик уха, называемых кривыми равной громкости. Каждая из этих кривых, относящихся к разным уровням громкости, показывает, каким должно быть звуковое давление в свободном пространстве, чтобы звуковые колебания различных частот ощущались ухом с одинаковой громкостью. Нижняя кривая характеризует минимальную ощущаемую ухом интенсивность звука (порог слышимости), а самая верхняя — минимальную интенсивность звука, вызывающего болевые ощущения в ухе (болевой порог).

Ход кривых равной громкости объясняет причину изменения тембра передачи при ее прослушивании на разных уровнях громко-

Громовой раскат — 135

Взлет реактивного самолета — 130

Эстрадная музыка через динамики на расстоянии 1,5 м — 120

Грузовой автомобиль с дизельным двигателем — 92

Типографские машины — 86

Проигрывание громкой оркестровой музыки — 82

Звонок будильника (на расстоянии 0,5 м) — 80

Пылесос — 69

Машинописное бюро — 65

В полночь в квартире тихого района города — 32

Рис. 2. Уровень интенсивности различных звуков в децибелах.

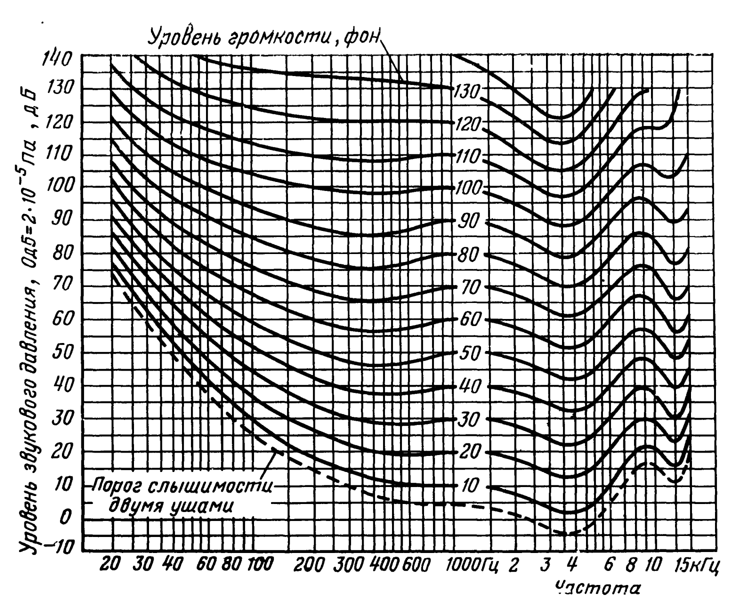


Рис. 3. Кривые равной громкости.

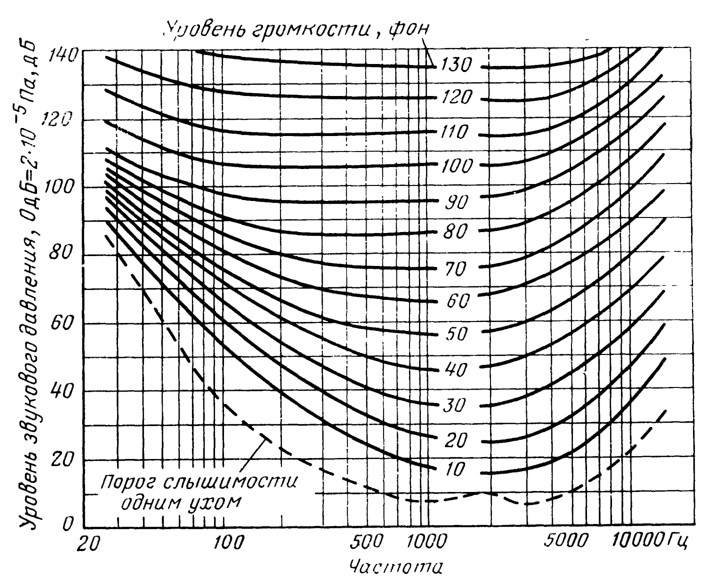


Рис. 4. Кривые равной громкости при прослушивании через наушник.

сти Если прослушивание ведется при малом уровне, то создается ощущение плохого воспроизведения составляющих низших и высших частот. Субъективное ощущение громкости в зависимости от интенсивности звука подчиняется основному психофизиологическому закону: субъективное ощущение громкости изменяется приблизительно пропорционально логарифму изменения интенсивности звука Вот почему ухо может реагировать на звуки, отличающиеся по своей интенсивности в огромное число раз.

На рис 4 показано аналогичное семейство кривых равной громкости для случая, когда тональный звук прослушивают не в свободном звуковом поле открытым ухом, а с помощью электродинамического телефона (наушника); уровни звукового давления при этом измерялись в начале слухового прохода Это и обусловливает разницу между кривыми 3 и 4

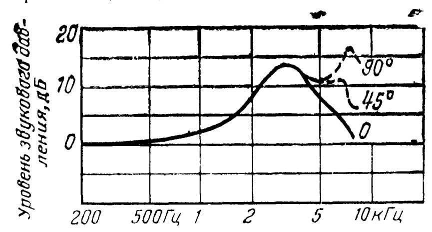


Рис. 5 Резонансные свойства слухового прохода.

Из сравнения кривых, близких к порогу, видно, что открытое ухо на частоте 3000 Гц приблизительно на 10 дБ более чувствительно, чем в случае прослушивания через телефон Такое повышение чувствительности открытого уха объясняется резонансом объема воздуха в слуховом проходе Это подтверждается рис 5, на котором показана разница в уровне интенсивности звука у барабанной перепонки открытого и закрытого уха при разных углах падения звуковой волны

На рис 6 представлены средние пороговые кривые слышимости по костной проводимости при установке костного телефона (вибратора) на мастоиде для порогов слышимости, выраженных в единицах колебательного ускорения вибраций, сообщенных мастоиду, и в единицах смещения *

По кривым видно, что костный порог слышимости по ускорению вибраций в диапазоне частот 125—6000 Гц — приблизительно постоянная величина, составляющая около 0,02 м/с^2 Это пороговое ускорение соответствует открытому уху; закрывание уха увеличивает его чувствительность по костной проводимости и уменьшает величину порогового ускорения в диапазоне частот от низших примерно до 2000 Гц Увеличение чувствительности тем больше, чем ниже частота колебаний; на частоте 125 Гц оно составляет около 24 дБ Объясняется это тем, что при закрывании уха и наличии вибраций изменяется звуковое давление в слуховом проходе, т. е. к костной проводимости добавляется и воздушная.

Установка костного телефона на лбу вместо мастоида дает разницу в пороговых значениях от +3 до —17 дБ. Отметим, что чувствительность уха, характеризуемая кривыми рис. 6, представляет среднестатистические данные. У отдельных людей она может незначительно (на ±5 дБ) отличаться. Уровни звукового давления, необходимые для восприятия воздушного звука по костной прово-

* Колебательное ускорение вибраций (a) связано со смещением (ξ) выражением $a=\omega^2\xi$, где $\omega=2\pi f$, а f — частота вибраций.

димости (при выключенной воздушной) приблизительно на 40 дБ выше, чем при восприятии по воздушной проводимости.

Нормальный слух обеспечивает очень важное для стереофонического восприятия звуков свойство, называемое бинауральным эффектом. Этот эффект, проявляющийся при слушании двумя ушами, заключается в способности человека определять направление прихода звука или месторасположение источника звука. Бинауральный эффект аналогичен стереоскопическому эффекту для зрения. Лица, лишившиеся слуха на одно ухо, не обладают бинауральным

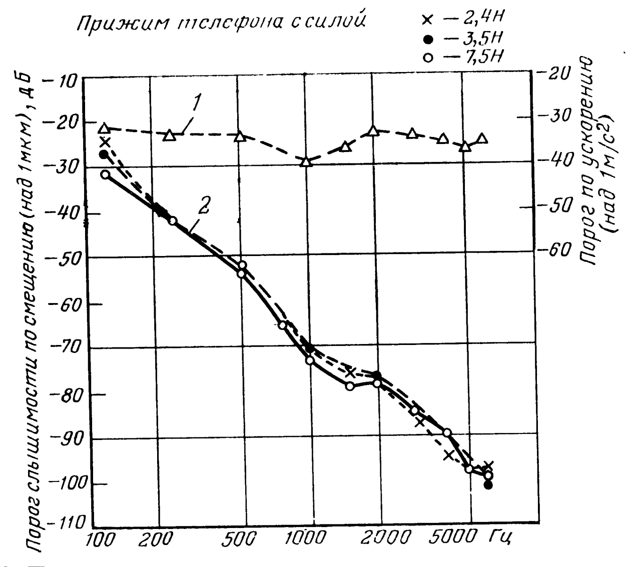


Рис. 6. Пороговые кривые для костной проводимости.

1 — в единицах колебательного ускорения; *2* — в единицах колебательного смещения.

слухом и не способны определить направление прихода звука; воспроизведение звука в помещении всегда кажется им менее живым (рельефным), чем для прослушивающих обоими ушами. Бинауральный эффект создается главным образом разницей во времени прихода звука к обоим ушам и разницей в амплитуде сигналов, достигающих ушей вследствие дифракции звуковой волны вокруг головы. Эти факторы проявляются на частотах выше 300 Гц. Звуки высших частот, достигающие уха на противоположной от источника звука стороне головы, из-за экранирующего действия головы оказываются ослабленными, в результате чего появляется дополнительная разница в спектральном составе звуков, слышимых справа и слева. Лучше всего определяется направление прихода звуков с частотой 300—3000 Гц, для которых ухо обладает максимальной чувствительностью. Точность определения направления прихода звука в горизонтальной плоскости (когда слушатель обращен к источнику звука лицом) составляет 10—12°. Вот почему для стереофонического воспроизведения звука, при котором у слушателя

создается впечатление о распределении источника звука в пространстве, имеет наибольшее значение воспроизведение правым и левым каналами полосы частот от 300—400 до 3000—4000 Гц. Частоты ниже и выше этой полосы могли бы воспроизводиться одним каналом.

Другой важной особенностью слуха, использование которой необходимо для обеспечения высокой разборчивости речи, является зависимость разборчивости речи (артикуляции) от пропускаемой аппаратурой ширины полосы частот. Кривая *H* (рис. 7), полученная экспериментально, показывает, как меняется разборчивость речи при срезании составляющих высших частот. Кривая *B* иллюстрирует изменение разборчивости при срезании составляющих низших частот. Например, при отсутствии спектральных составляющих частот ниже 500 Гц (кривая *B*) обеспечивается 96% разборчивости, а отсутствие спектральных составляющих частот выше 4000 Гц снижает разборчивость до 92% (кривая *H*). Отсюда можно сделать вывод, что вполне удовлетворительная разборчивость воспроизведения речи обеспечивается при передаче полосы частот приблизительно от 500 до 4000 Гц. Важность отдельных частот, охватываемых этой полосой, неодинакова для разборчивости. По данным исследований, выполненных различными авторами, важность отдельных частот оценивается согласно табл. 1.

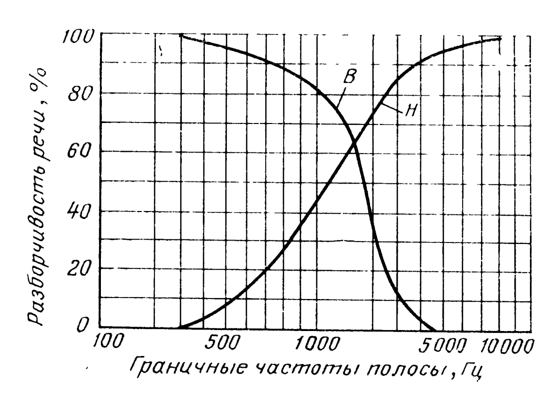


Рис. 7. Влияние ограничения полосы передаваемых частот на разборчивость речи.

Таблица 1

Частота, Гц . . .	500	1000	2000	4000
Важность, % . .	7—15	20—40	30—40	10—26

Однако далеко не все люди обладают нормальным слухом. Статистикой установлено, что у одного из четырех человек, достигших пятидесятилетнего возраста, имеется понижение слуха. Массовые исследования слуха в различных странах показали, что по крайней мере 1%, а вероятнее всего 2—3% населения страдает выраженым ухудшением слуха в такой степени, что для общения

с окружающими им необходима помощь слухового аппарата. Причин для порчи слуха несколько. Во-первых, с возрастом часто в ухе происходят паталогические изменения, приводящие к понижению остроты слуха (главным образом к высшим частотам). На рис. 8 приводятся кривые, построенные на основании среднестатистических данных, которые показывают, как с возрастом может теряться острота слуха у женщин и мужчин. Во-вторых, к ослаблению слуха приводят различные заболевания уха, такие, как катар, отосклероз

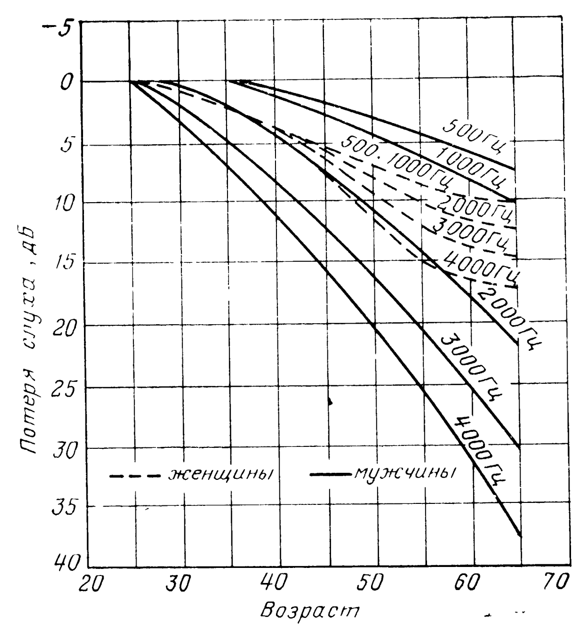


Рис. 8. Возрастное понижение слуха.

или осложнения на ухо, вызванные инфекционными болезнями (гриппом, скарлатиной, свинкой и др). Слух ослабляют также различные травмы и длительное воздействие шума, вызываемое обычно профессиональной деятельностью. Регулярное слушание джазовой музыки при высоких уровнях интенсивности звука (более 100 дБ) также способно вызвать повреждение слуха.

В результате действия какой-либо из этих причин или нескольких совместно могут происходить следующие поражения органа слуха, приводящие к стойкому понижению слуха: 1) поражение звукопроводящего аппарата, в этом случае заболевание локализуется главным образом в наружном или среднем ухе; 2) поражение звуковоспринимающего аппарата — заболевание внутреннего уха или слухового нерва; 3) комбинированное (одновременное) поражение среднего и внутреннего уха.

Типичные аудиограммы (частотные характеристики пороговой чувствительности уха) для таких поражений слуха представлены на рис. 9.

При любом типе поражения понижение слуха может быть количественно различным, и приведенные аудиограммы дают представление лишь о характере изменений слуха. Чтобы можно было составить представление о количественном влиянии потери слуха

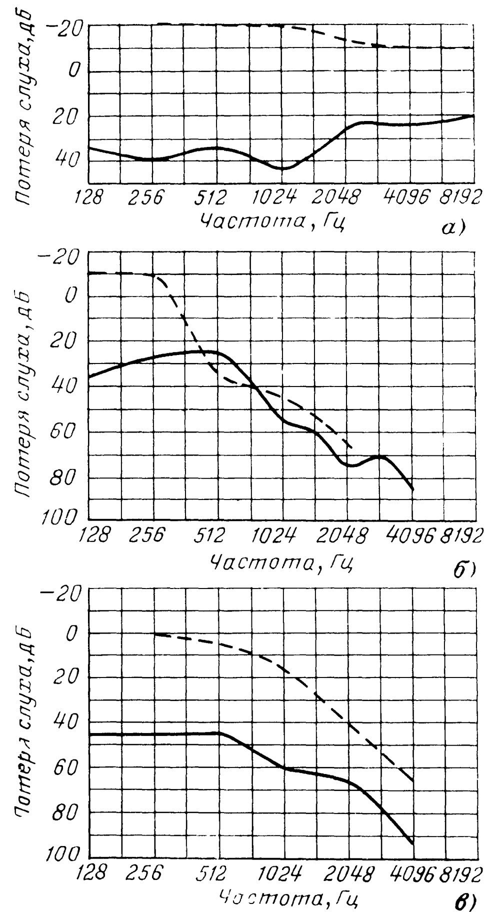


Рис. 9. Образцы типичных аудиограмм для основных поражений органа слуха. Сплошные линии изображают воздушную проводимость, штриховые — костную.

а — поражение звукопроводящего аппарата; *б* — поражение звуковоспринимающего аппарата; *в* — комбинированное поражение

на его функциональное состояние, в табл. 2 приведены расчетные данные по изменению предельного расстояния, с которого в тихом заглушенном помещении воспринимается шопот, голос средней силы и громкий голос, в зависимости от степени потери слуха в диапазоне 500—4000 Гц.

Изредка встречается еще одно поражение слуха, локализованное во внутреннем ухе и не отражающееся в аудиограмме, а требующее для своего выявления специальных тестов. Это поражение называется «феномен ускоренного нарастания громкости» (ФУНГ) и исследовано сравнительно недавно (в 30-х годах). Это поражение (за рубежом оно называется recruitment) состоит в том, что понижению слуха сопутствует нарушение ощущения громкости звуков, состоящее в том, что по мере повышения интенсивности звука над порогом слышимости непропорционально сильно возрастает громкость этих звуков. Такое положение приводит к тому, что при наличии ФУНГ ухо способно заметить изменение интенсивности звука на 0,2—0,8 дБ, тогда как нормальное ухо замечает изменение лишь на 1—2 дБ. Главным проявлением ФУНГ является появление неприятных и даже болевых ощущений при прослушивании звучания с увеличенным уровнем громкости или просто отдельных случайных громких звуков. Наличие ФУНГ приводит к сокращению динамического диапазона воспринимаемых звуков. Поэтому в звукоусилительной аппаратуре, которой пользуются лица, имеющие ФУНГ, применяются меры к сжатию или ограничению динамического диапазона передаваемых звуков.

Таблица 2

Потеря слуха, дБ	Расстояние, м			Потеря слуха, дБ	Расстояние, м		
	Шепот	Голос средней силы	Громкий голос		Шепот	Голос средней силы	Громкий голос
20	1,2	38	212	50	0,038	1,2	6,7
25	0,67	21	118	55	0,021	0,67	3,8
30	0,38	12	67	60	—	0,38	2,1
35	0,21	6,7	38	65	—	0,21	1,2
40	0,12	3,8	21	70	—	0,12	0,67
45	0,067	2,1	12	75	—	0,067	0,38
				80	—	0,038	0,21

Следует отметить, что возможности медицины (отиатрии) в деле восстановления утраченного слуха весьма ограничены. Почти не поддаются лечению поражения звуковоспринимающего аппарата. Зато в последние два десятилетия наметился значительный прогресс в деле хирургического лечения (микрохирургии) поражений звукопроводящего аппарата, вызванных потерей подвижности слуховых косточек или круглого окна улитки в результате отосклероза. Такие операции, проводимые под микроскопом (наиболее распространенная из них носит название «мобилизация стремени»), приводят к существенному улучшению слуха.

ИЗМЕРЕНИЕ СЛУХА. АУДИОМЕТРЫ И ИХ КАЛИБРОВКА

Остроту слуха наиболее точно можно измерить с помощью аудиометра. По сравнению со всеми другими способами (камертоны, речь, шепот и т. п.) аудиометрический метод обеспечивает наиболее детальное и точное исследование слуха; острота слуха оценивается при этом по измеренным порогам слышимости или порогам разборчивости. Наиболее важным результатом аудиометрического исследования слуха является диагностическая возможность дифференцирования поражений слухового органа, в том числе представляет особую ценность возможность ранней диагностики. Аудиометрические исследования позволяют оценить динамику изменения слуха по времени и эффективность тех или иных лечебных мероприятий. Детальные исследования слуха являются особенно важными при выборе некоторых профессий, для определения профессиональной вредности особых акустических условий, при назначении и подборе слуховых аппаратов. Такие исследования незаменимы при массовых обследованиях остроты слуха. Поэтому аудиометр должен являться существенной частью оборудования каждого оториноларингологического кабинета, кабинета ушного протезирования, любого лечебного или клинического учреждения, а также всех учреждений по охране труда.

Любой аудиометр состоит из четырех основных элементов: источника звукового сигнала, усилителя, аттенюатора (регулятора интенсивности звукового сигнала) и телефонов воздушной и костной проводимости. Кроме того, аудиометр содержит выпрямительное устройство для питания прибора от осветительной сети (или для зарядки питающих его аккумуляторов). В зависимости от характера сигнала (тон или речь) аудиометры делятся на тональные или речевые, причем более дорогие модели аудиометров, называемые клиническими или диагностическими, являются совмещенными, т. е. позволяют исследовать слух обоими сигналами, причем интенсивность речевого сигнала контролируется встроенным индикатором уровня. Последний представляет собой вольтметр переменного тока с постоянной времени 0,2—0,3 с. Он показывает средний уровень речи.

Источником тонального сигнала является звуковой генератор (*RC* или на биениях) с диапазоном частот от 125 до 8000—10 000 Гц. Этот диапазон охватывает наиболее важную область слышимых человеком звуков. Частота может изменяться плавно или ступенями, приблизительно в 1/2—1/3 октавы.

Интенсивность сигнала изменяется аттенюатором ступенями через 5 дБ; диапазон измерений (пределы измеряемых потерь слуха) составляет у большинства аудиометров для воздушной проводимости от —10 дБ (слух острее нормального) до +105÷+110 дБ на средних частотах. На крайних частотах диапазон измерений уменьшается на 20—50 дБ. Это обусловлено главным образом свойствами слуха, т. е. увеличением значений пороговых интенсивностей при самых низких и высоких тонах. Диапазон измерений для костной проводимости составляет от —10 до +60÷+80 дБ (максимальная интенсивность) на средних частотах с уменьшением на 20—40 дБ на крайних частотах.

В качестве телефонов в аудиометрах используют почти всегда электродинамические телефоны воздушной проводимости и электромагнитные телефоны костной проводимости (аналогичные применяе-

мым в слуховых аппаратах) Электродинамический телефон обладает наименьшим акустическим сопротивлением по сравнению с телефонами других типов и обеспечивает поэтому меньшую зависимость звукового давления от индивидуальных различий размеров внешнего уха Для исключения возможности передачи вибраций корпуса и для более плотного прилегания к ушной раковине телефон снабжают мягкой подушкой (амбушюром) из губчатой резины.

Значительно реже в качестве источников звука в аудиометрах используют электродинамические громкоговорители. Причинами этому служат методические трудности и необходимость использования акустически заглушенного помещения. Кроме того, при использовании громкоговорителей аудиограмма оказывается справедливой лишь для свободного поля и отличается по порогу звукового давления от аудиограммы, получаемой при использовании телефона Это также не совсем удобно.

Большинство аудиометров комплектуются двумя одинаковыми электродинамическими телефонами для правого и левого уха, соединенными пружинным оголовьем. Наличие при измерении слуха телефонов на обоих ушах увеличивает звукоизоляцию одного уха от сигналов, подаваемых к другому, и этим уменьшает возможность ошибки при измерении по воздушной проводимости.

Источником речевого сигнала является как сама речь, так и носители речевой записи· магнитная фонограмма или долгоиграющая граммофонная пластинка Максимальный уровень речевого сигнала по воздушной проводимости при определении порогов слышимости составляет 105—110 дБ, а при определении порогов разборчивости 75—80 дБ. Звукозапись обеспечивает большую точность исследования, чем речь, вследствие большей стабильности уровня сигнала

Деления шкалы аттенюатора тонального аудиометра должны непосредственно показывать потерю слуха в децибелах. Поэтому нулевая интенсивность сигнала (нуль шкалы потери слуха) должна изменяться с частотой в соответствии с пороговой интенсивностью нормального слуха Это изменение осуществляется автоматически; электрическим путем в аудиометрах со ступенчатым изменением частоты тонального сигнала, механическим путем в аудиометрах с плавным изменением частоты сигнала (последнее, конечно, несколько усложняет прибор). В связи с этим заслуживает внимания весьма простой способ коррекции интенсивности сигнала, примененный в аудиометре модели 2А фирмы «Western Electric» (США), с плавным изменением частоты тона. Он заключается в том, что шкала аттенюатора имеет несколько отсчетных индексов для различных частот, что эквивалентно изменению калибровки (затухания) аттенюатора на соответственных частотах

Из второстепенных звеньев тонального аудиометра наиболее важными являются прерыватель сигнала и источник шумового маскирующего сигнала. Прерыванием сигнала проверяют отсутствие слуховых галлюцинаций у испытуемого. Этим путем можно также достичь большей контрастности ощущений при подаче испытуемому звукового сигнала. Для надежности этой проверки необходимо, чтобы прерывание сигнала не сопровождалось тресками.

Шумовая маскировка используется при получении (измерении) аудиограмм по костной проводимости Если, например, острота слуха пациента по правому уху хуже, чем по левому, то при исследовании порогов по костной проводимости правого к левому

уху пациента с помощью воздушного телефона подается маскирующий шумовой сигнал, назначение которого — исключить восприятие лучшим ухом тонального сигнала, посылаемого в худшее ухо. Этим обеспечивается повышение точности измерения слуха путем устранения косвенного приема сигнала другим ухом. Такая опасность может возникнуть не только при измерении костной проводимости, но и в случае измерения воздушной проводимости худшего уха при разнице в порогах слышимости обоих ушей, превышающей 40—50 дБ.

Для маскировки в аудиометрах используют шум сплошного спектра (белый шум), дающий лучшую маскировку тонов выше 800 Гц, чем более низких тонов.

Более эффективна маскировка тонального сигнала так называемыми критическими полосами шума, ширина полосы которых составляет около 5% частоты исследуемого тона (например, 50 Гц для тона 1000 Гц). Шумы в столь узкой полосе получают из «белого шума» с помощью электрических фильтров. Центральные частоты критических полос шума равны частотам исследуемых тонов. Критические полосы шума используют для маскировки сигнала только в аудиометрах с фиксированными тональными частотами, поскольку плавно смещать по диапазону частот критическую полосу шума технически сложно. Реализация такого решения сильно удорожила бы аудиометр. Именно с целью упрощения и удешевления в некоторых аудиометрах, например в аудиометре *Atlas* фирмы «Krupp» (ФРГ), маскирующий шум подается тремя полосами: 125—1000, 1000—3000 и 3000—8000 Гц. Такое решение позволило обойтись тремя полосовыми фильтрами вместо девяти.

Маскирующий шум подается исследуемому уху через один из основных комплектующих (штатных) телефонов воздушной проводимости Для подачи маскирующего шума уровнем более 50 дБ (чтобы избежать возможного переслушивания этого сигнала другим, исследуемым ухом) некоторые аудиометры содержат дополнительный миниатюрный воздушный телефон с ушным вкладышем, аналогичный используемым в слуховых аппаратах. Миниатюрный телефон резко ограничивает возможность перекрестного переслушивания благодаря уменьшению площади контакта телефона с ушной раковиной, что увеличивает переходное затухание сигнала от одного уха к другому с 40—50 дБ для основного воздушного телефона аудиометра, прикладываемого к ушной раковине, до 80—90 дБ для миниатюрного телефона.

В подавляющем большинстве аудиометров применяют радиолампы. Однако в выпускаемых в настоящее время аудиометрах используют транзисторы, что делает аудиометры более портативными и обеспечивает их питание как от осветительной сети, так и от батарей. Это представляет несомненное удобство при выездных исследованиях слуха На рис 10 приведен внешний вид аудиометра *Atlas*, удобного для транспортировки

При использовании большинства аудиометров оператор последовательно переносит со шкалы потери слуха на бланк аудиограммы данные о порогах слышимости на разных частотах. Эти данные для обоих ушей и двух проводимостей (воздушной и костной) позволяют построить частотные характеристики потери (понижения) слуха, которые собственно и называются аудиограммой. Эти характеристики выражены в децибелах по отношению к нормальному порогу слышимости.

В аудиометре (рис. 10), называемом иногда полуавтоматическим, сделана попытка упростить и исключить возможные ошибки при перенесении измеренных данных на бланк аудиограммы. Для этого бланк помещают в определенное место аудиометра, где над ним находятся две планки: вертикальная, которую передвигают в горизонтальном направлении и тем самым управляют частотой тонального сигнала, и горизонтальная, которую передвигают в вертикальном направлении и управляют тем самым интенсивностью

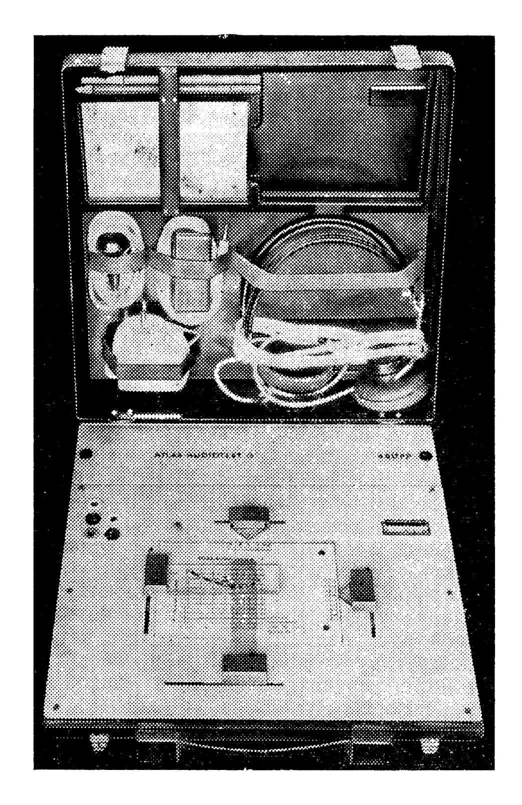


Рис. 10. Модель переносного аудиометра.

тонального сигнала. В горизонтальной планке сделаны отверстия для грифеля, находящиеся против всех положений первой планки, соответствующих различным частотам тонального сигнала, а в вертикальной планке сделана прорезь по всей длине.

Установив вертикальную планку на желаемую частоту тона, передвижением горизонтальной планки находят порог слышимости и, вставив грифель в соответствующее этой частоте отверстие, делают отметку на бланке. Таким же образом наносят отметки для

всех других тонов, после чего, вынув бланк, соединяют сделанные отметки непрерывной линией. Правое ухо принято обозначать на аудиограмме сплошной красной линией, а левое — сплошной синей линией; костную проводимость обозначают пунктиром соответствующего цвета.

Аналогичная модель стационарного полуавтоматического аудиометра АП-2 с питанием от сети, выпускаемая отечественной промышленностью, показана на рис. 11. В другом типе тонального по-

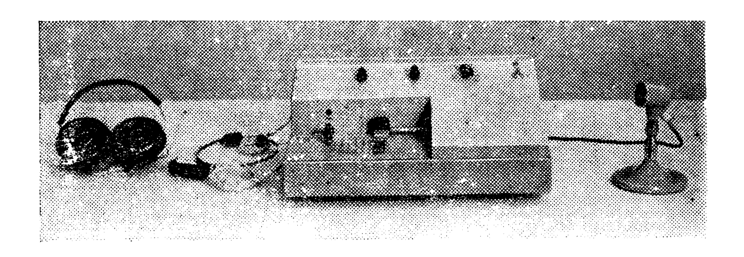


Рис. 11. Полуавтоматический аудиометр **АП-2**.

луавтоматического аудиометра, сравнительно недавно предложенном венгерским акустиком Бекеши, запись аудиограммы производится автоматически на бланке, медленно передвигаемом с помощью электродвигателя, синхронно с изменением частоты сигнала.

Пишущий стилус (грифель), связанный механически с движком аттенюатора, перемещается перпендикулярно направлению движения бланка с помощью второго электродвигателя. Последний управляется самим испытуемым лицом; нажимая кнопку, он включает электродвигатель и по достижении пороговой интенсивности отпускает ее. Уменьшение интенсивности сигнала, т. е. обратное движение аттенюатора, осуществляется с помощью пружины при отпускании кнопки. Испытуемый должен нажимать кнопку только до тех пор, пока не услышит сигнала.

Блок-схема полуавтоматического аудиометра (рис. 12,*а*) по существу аналогична блок-схеме аудиометра с ручным управлением, а результат исследования слуха получается непосредственно в виде непрерывной записи на бланке (рис. 12,*б*).

Полуавтоматический аудиометр удобен при массовых обследованиях слуха, не требующих большой точности. На рис. 13 показан внешний вид промышленных моделей подобного аудиометра: на двух аудиометрах хорошо видны шариковые пишущие узлы двух цветов. В промышленных моделях таких аудиометров частота изменяется не непрерывно, а ступенями (7—9 тонов). Соответственно этому бланк или грифель передвигается горизонтально также шагами, при изменении (переключении) частоты вручную или автоматически, а в пределах каждой частотной ступеньки грифель горизонтально перемещается в течение 30 с; исследование одного уха производится таким аудиометром за 6—8 мин. В некоторых моделях, например *Medicor* (Венгрия), скорость переключения (прохождения) частот и уровень сигнала могут регулироваться.

Ранее указывалось, что более дорогие модели аудиометров (клинические) совмещают в себе возможности тональной и речевой аудиометрии. Кроме того, существуют приставки к магнитофону, образующие вместе с ним речевой аудиометр. Такая приставка содержит индикатор уровня, аттенюатор и динамические телефоны. Одна из таких приставок фирмы «Amplivox» (Англия) показана на рис. 14.

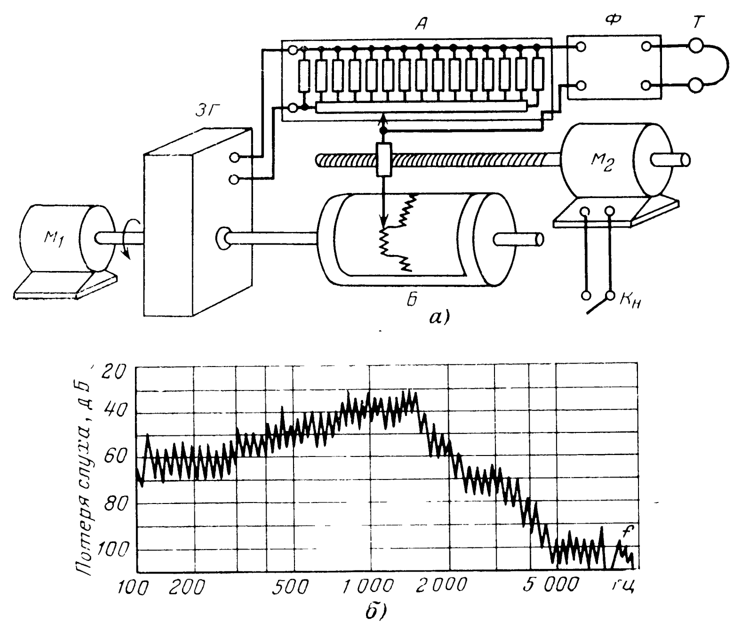
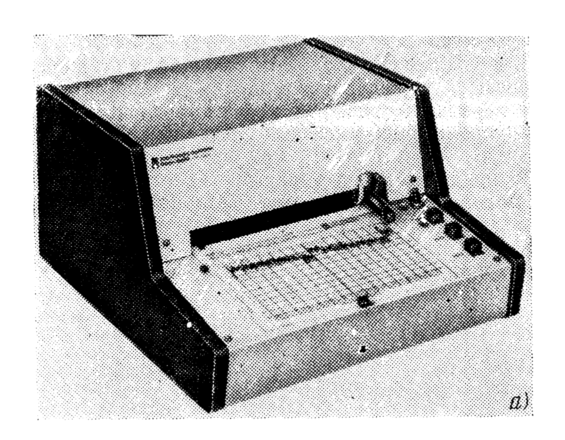


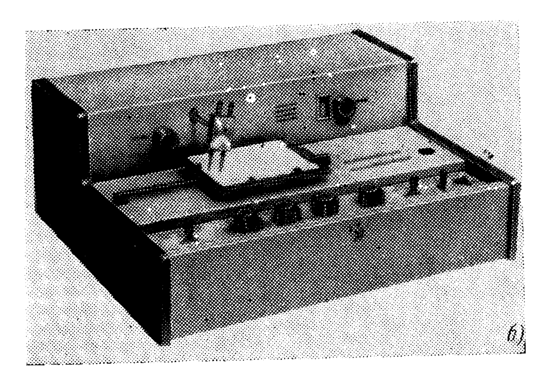
Рис. 12. Полуавтоматический аудиометр Бекеши.

а — блок-схема аудиометра (M_1 и M_2 — электродвигатели, *ЗГ* — звуковой генератор; *А* — аттенюатор; *Ф* — электрический фильтр; *Т* — телефон; *Б* — барабан на который накладывается бумажная лента; *Кн* — кнопка); *б* — образец аудиограммы.

Клинические аудиометры помимо устройства для речевой аудиометрии, как правило, содержат дополнительные устройства, позволяющие производить различные слуховые испытания, в частности определять наличие феномена ФУНГ, измерять кривые равной громкости и т. д. Для этого в клинических аудиометрах имеется второй канал тонального сигнала с аттенюатором, подобный основному, устройство для подачи импульсных тональных сигналов с изменяемыми частотой следования (1—12 Гц) и глубиной модуляции как тонального, так и маскирующего сигналов, а также коммутатор для подачи всех этих сигналов в правое или левое ухо.

На рис. 15 показаны клинические аудиометры моделей АА-34Е фирмы «Rion» (Япония), AP5 MkII фирмы «Peters» (Англия), OB70 фирмы «Madsen» (Дания). Последняя имеет цифровой отсчет частоты тонального сигнала и значений потери слуха в двух каналах. Эти значения могут быть изменены ступенями в 1 дБ.





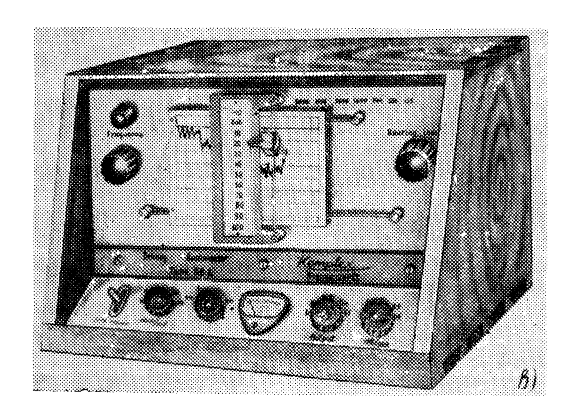


Рис. 13. Полуавтоматический аудиометр.

а — модель 1703 фирмы «Grason-Stadler»; *б* — модель АТВ-21 фирмы «Medicor»; *в* — модель АВ-1 фирмы «Kamplex».

Наряду со сложными и дорогими моделями аудиометров выпускаются дешевые, упрощенные модели — аудиотестеры, предназначенные для первичной проверки слуха только по воздушной проводимости (при проведении массовых профилактических и отборочных обследований). Аудиотестеры, как правило, питаются от батарей. На рис. 16 показаны отечественный аудиотестер АТ-01 и более совершенные модели № 110 фирмы «Amplivox» и ТА-6 фирмы «Interacoustics» (Дания).

Многие фирмы в последнее время начали выпускать новый диагностический прибор (Acoustic Impedance Meter) — измеритель

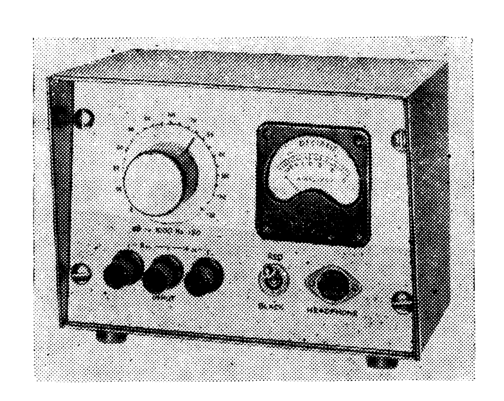


Рис. 14. Приставка, образующая речевой аудиометр.

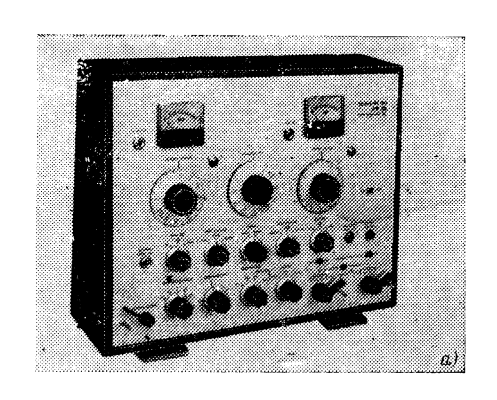
полного акустического сопротивления уха. Этот прибор позволяет объективно измерить функцию среднего уха, в частности определить наличие отосклероза и другой патологии, а также наличие ФУНГ. Эти измерения осуществляются при подаче в ухо тонального сигнала частотой 220 Гц и точно оцениваемых малых изменений воздушного давления в ухе.

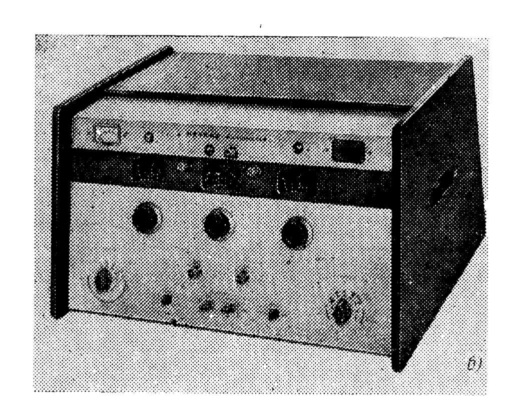
Исследование слуха с помощью тонального аудиометра дает сведения преимущественно диагностического характера и показывает количественную потерю слуха в функции частоты. Использование речевого аудиометра дает сведения преимущественно о функциональном состоянии слуха, хотя существует возможность приближенной оценки функциональной (речевой) потери слуха на основании тональной аудиограммы.

Чаще всего применяется субъективная методика исследования слуха аудиометром, поскольку ответ оператору (исследователю) о слышимости сигнала дает сам испытуемый (нажатием кнопки, зажигающей сигнальную лампочку в аудиометре, либо жестом — поднятием пальца).

При исследовании слуха у детей методика может быть сделана объективной — путем использования различных ответных реакций: кожно-гальванической, зрачковой, мигательной.

Точность аудиометрического исследования слуха принято считать равной 10 дБ, хотя во многих случаях эта точность повышает-





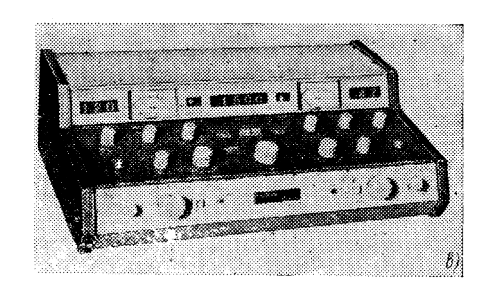
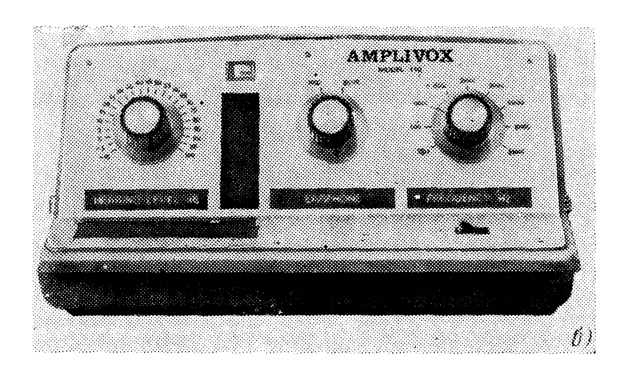


Рис. 15. Клинические аудиометры.
а — модель АА-34Е; *б* — модель АР5 МкII; *в* — модель ОВ70.





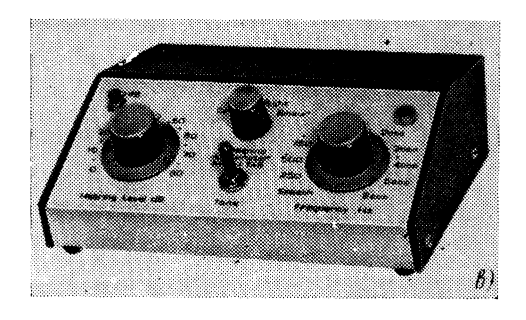


Рис. 16. Аудиотестеры.

а — модель АТ-01; *б* — модель № 110; *в* — модель ТА-6.

ся до 3—5 дБ для одного и того же прибора. Точность исследования определяется также уровнем шума в помещении, где проводится измерение (особенно в случаях измерения небольших потерь слуха). Шум может существенно исказить результаты измерений; влиянию шума больше подвержено измерение костной проводимости, при котором измеряемое ухо должно оставаться открытым во

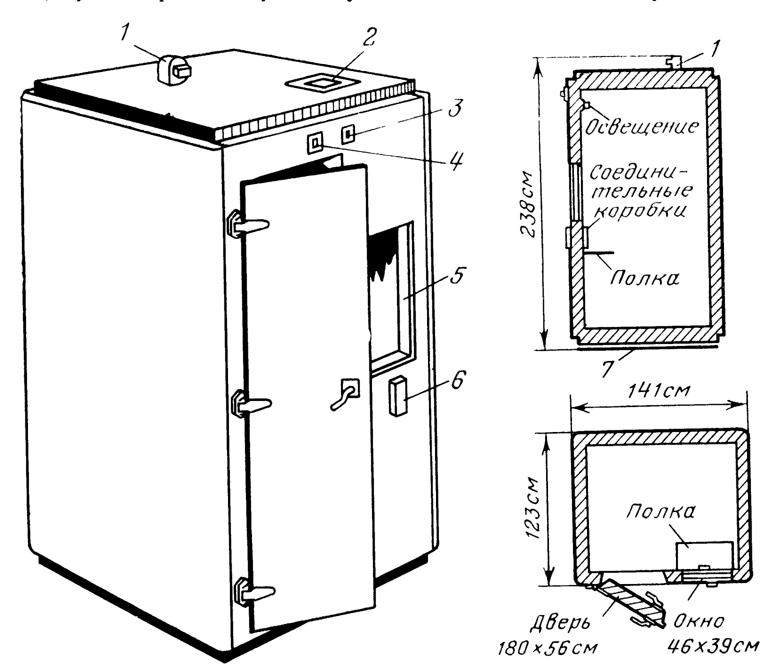


Рис. 17. Звукоизолирующая кабина с однослойными стенками.

1 — вентилятор, 2 — выходное отверстие лабиринта в крыше для непрерывной принудительной бесшумной вентиляции; 3 — сигнальная лампа; 4 — плавкий предохранитель; 5 — двойное окно; 6 — соединительная коробка; 7 — изоляционный слой из резины.

время измерения порогов на частотах от низших примерно 2000 Гц. Требование проводить измерения при открытом ухе обусловлено тем, что закрытое ухо повышает его чувствительность по костной проводимости на частотах ниже 2000 Гц.

Чтобы обеспечить при исследовании уха небольшой уровень шума, испытуемого помещают в звукоизолирующую кабину, которая ослабляет уровень окружающего шума на средних частотах на 50—60 дБ: большую звукоизоляцию обеспечивает кабина с двойными стенками и воздушным промежутком между ними. Внешний вид звукоизолирующей кабины с однослойными стенками, изготовляемой фирмой «Amplivox», показан на рис. 17.

Другим средством ослабления влияния окружающего шума на измеряемые пороги слышимости по воздушной проводимости явля-

ются звукоизолирующие колпачки, надеваемые на электродинамические телефоны. Такие колпачки, выпускаемые, например, фирмами «Amplivox», «Madsen», дают ослабление шума от 9 дБ на частоте 125 Гц до 35—40 дБ на частоте 4000 Гц и не влияют на чувствительность телефона аудиометра, а следовательно, на его калибровку.

Звукоизоляция большинства электродинамических телефонов с мягким амбушюром (подушкой) составляет около 3 дБ на частотах до 500 Гц и возрастает на более высоких частотах (29 дБ на частоте 4000 Гц и 18 дБ на частоте 8000 Гц).

Правильность калибровки шкалы потери слуха аудиометра имеет не меньшее влияние на точность измерения порогов слышимости. Она определяется соответствием создаваемых телефонами в ухе уровней сигнала в нулевом положении шкалы потери слуха — среднестатистическим нормальным порогам слышимости по воздушной и костной проводимостям. Международного стандарта нормальных порогов слышимости нет; до 1964 г. у большинства аудиометров уровни для нормальных порогов (при нуле шкалы потери слуха) соответствовали данным американского стандарта 1951 г., основанного на массовых обследованиях слуха населения. В 1952 г. в Англии были получены новые данные по нормальным слуховым порогам по воздушной проводимости, отличающиеся в сторону увеличения чувствительности слуха в среднем на 10 дБ. Это послужило основанием для ISO (Международная организация по стандартизации) изучить опубликованные с 1955 г. данные по нормальным порогам слышимости. Эти данные были получены в пяти странах (СССР, США, Англия, Франция, ФРГ) и совпали между собой. На их основании в 1964 г. был принят международный стандарт относительно нуля для однородной калибровки тональных аудиометров (ISO R389).

Введенный в СССР в 1968 г. ГОСТ 13655-68 устанавливает значение эквивалентных пороговых уровней звукового давления, создаваемых электродинамическим телефоном типа ТД-6 в полости «искусственного уха» типа ИУ-12. Этот стандарт предназначен для калибровки телефонов воздушной проводимости отечественных аудиометров согласно ISO R389. Данные ГОСТ 13655-68 зависят как от значений звукового давления при нормальном пороге слышимости, так и от электроакустических свойств комбинации телефон — «искусственное ухо». Поэтому замена в указанной комбинации одной из компонент делает недействительными данные, указанные в стандарте. После введения международного стандарта ISO R389 и ГОСТ 13655-68 получился разнобой: аудиометры, которые отвечали этим стандартам, показывали при измерении слуха несколько большую потерю слуха, чем выпущенные ранее. Для приведения калибровки аудиометров выпуска прошлых лет в соответствие с данными последних стандартов следует измеренную с их помощью потерю слуха увеличить согласно табл. 3.

Калибровка аудиометрического нуля потери слуха по костной проводимости может производиться аналогично калибровке нуля по воздушной проводимости с помощью прибора «искусственный мастоид». Но до сих пор отсутствуют международный стандарт и ГОСТ на эквивалентные пороги слышимости по костной проводимости. Поэтому наиболее доступной и простой калибровкой аудиометрического нуля потери слуха по обеим проводимостям является измерение калибруемым аудиометром слуха у 5—8 человек со здо-

ровыми ушами в возрасте от 18 до 25 лет Из этих измерений выводят средние значения, соответствующие нормальному порогу слышимости для всех тонов, при которых обычно измеряется слух. Если эти значения отличаются от нуля, то на разницу между нулем и средней измеренной величиной для каждой частоты тока вводится постоянная поправка.

Прокалибровав указанным способом аудиометр, например, по воздушной проводимости, по костной можно провести калибровку

Таблица 3

Частота тона, Гц	Величина, на которую должна быть увеличена потеря слуха, дБ	Частота тона, Гц	Величина, на которую должна быть увеличена потеря слуха, дБ
125	9	2000	8,5
250	15	3000	8,5
500	14	4000	6
750	12	6000	9,5
1000	10	8000	11,5
1500	10		

аудиометра сравнением одинаковых громкостей (методом равной громкости).

Для облегчения сравнения громкостей калибровку проводят тонами с интенсивностью, соответствующей 40—50 дБ потери слуха. При калибровке эти тоны воспринимаются одним ухом по костной проводимости, а другим — по воздушной. Рекомендуется предварительно немного потренировать слух в определении равной громкости. Точность калибровки может быть повышена, если произвести сравнение громкостей каждого тока дважды, поменяв на ушах костный и воздушный телефоны; окончательным результатом следует считать средние значения из двух этих измерений (сравнений).

Методом равных громкостей может быть проверена правильность калибровки шкалы потери слуха по одной проводимости звука относительно другой в одном и том же аудиометре.

Этим методом можно провести калибровку сомнительного в отношении правильности калибровки прибора по сравнению с другим (эталонным), причем нет необходимости сравнивать между собой громкости тонов по разным проводимостям. Обычно в этом случае проводят сравнение по одинаковым проводимостям. Точность сравнения может быть повышена, если провести сравнение дважды, поменяв телефоны на ушах.

СЛУХОВЫЕ АППАРАТЫ И ИХ УСТРОЙСТВО

Любой электроакустический слуховой аппарат состоит из микрофона, усилителя, телефона воздушной или костной проводимости и источника питания. Отличие этих элементов от аналогичных, широко применяемых в быту, заключается в их миниатюрности.

Электроакустические слуховые аппараты, основанные на принципе микротелефона с угольным микрофоном, появились в 1929 г.;

в 1935 г. выпущены первые слуховые аппараты с использованием малогабаритных радиоламп, позволившие резко улучшить акустические данные аппаратов.

До 1953 г. в слуховых аппаратах использовались почти исключительно трехкаскадные усилители на миниатюрных сверхэкономичных радиолампах. Появление транзисторов произвело буквально революцию в технике слуховых аппаратов. Вначале транзисторы

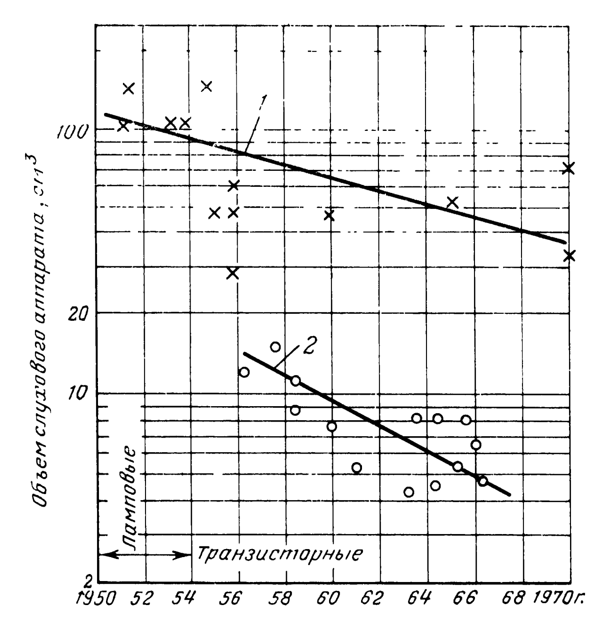


Рис 18. Изменение объема слуховых аппаратов за последние 20 лет.

1 — карманных; *2* — носимых на голове.

использовались только в выходном каскаде усилителя. В настоящее время все выпускаемые слуховые аппараты содержат трех- или четырехкаскадный усилитель на транзисторах.

Повышение эффективности слуховых аппаратов требует улучшения их акустических показателей. Однако это требование всегда противоречило постоянному стремлению к уменьшению габаритов и массы (веса) слуховых аппаратов.

Успехи микроэлектроники обеспечили создание малогабаритных слуховых аппаратов. На рис. 18 представлено изменение объема слуховых аппаратов карманного типа и аппаратов, носимых на голове (очки, заколки, заушники), за два десятилетия.

Наиболее важными из электроакустических показателей слуховых аппаратов являются: диапазон воспроизводимых частот, максимальный выходной уровень звука и коэффициент нелинейных искажений. После второй мировой войны были предприняты исследо-

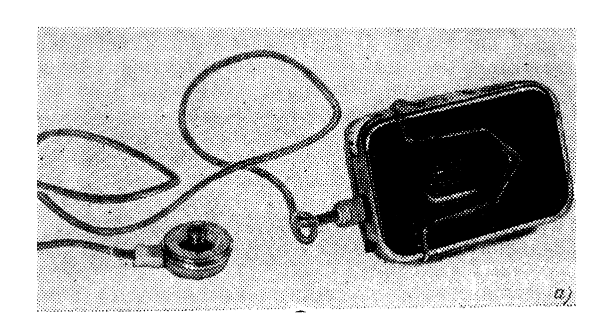
вания, целью которых являлось определение необходимых характеристик слуховых аппаратов. В этих исследованиях проводилось определение разборчивости речи лицами с пониженным слухом в различных условиях (в тишине, при наличии окружающего шума, с перегрузкой аппарата) В результате было установлено, что плоская (горизонтальная) амплитудно-частотная характеристика аппарата или характеристика, повышающаяся на 6 дБ на октаву между 300—750 и 4000 Гц и с резким срезом выше и ниже этих частот, обеспечивает одинаковую или лучшую разборчивость почти для всех лиц с пониженным слухом, чем любая другая амплитудно-частотная характеристика. Любопытно, что подобные исследования, проделанные за несколько лет до этого с лицами, обладающими нормальным слухом, указали на необходимость передачи примерно такого же диапазона частот для получения высокой разборчивости речи в различных условиях.

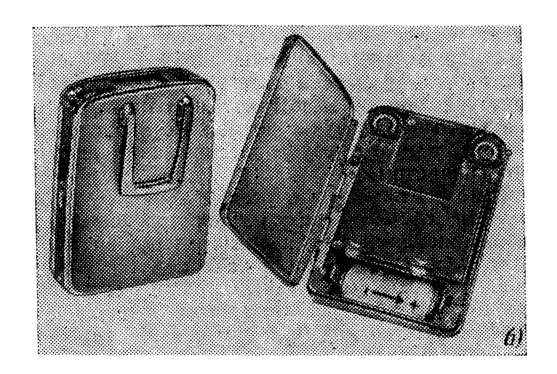
Для большинства плохослышащих критерием качества слухового аппарата служит увеличение разборчивости (артикуляция). Для таких лиц слуховые аппараты должны обладать указанной выше амплитудно-частотной характеристикой. Однако имеется некоторое число плохослышащих с поражением звукопроводящей части органа слуха, которым слуховой аппарат обеспечивает хорошую разборчивость речи. Для этой категории лиц можно было бы расширить критерий оценки качества аппарата с учетом сохранения большей натуральности звука, возможности распознавания тембра голоса говорящего, что требует расширения диапазона частот, передаваемого аппаратом.

Нелинейные искажения в слуховом аппарате ухудшают разборчивость речи и снижают натуральность звукопередачи, поэтому их уменьшение желательно для обеих категорий лиц, пользующихся слуховыми аппаратами. Еще совсем недавно коэффициент нелинейных искажений 30% при максимальном выходном уровне слухового аппарата не считался чрезмерной величиной. В настоящее время коэффициент нелинейных искажений слуховых аппаратов снижен в несколько раз.

В последние годы получили распространение четыре типа слуховых аппаратов, отличающихся по своей конструкции и внешнему виду.

Карманный слуховой аппарат имеет вид плоской коробочки, в которой находятся микрофон, усилитель и источник питания (аккумулятор или сухой элемент). Телефон воздушной или костной проводимости соединяется с усилителем тонким шнуром. На рис. 19 показан внешний вид трех образцов карманных аппаратов, изготовленных в СССР, ФРГ и Дании. Большое расстояние между микрофоном и телефоном препятствует возникновению акустической обратной связи и обусловленной ею генерации (свисту). Поэтому слуховые аппараты карманного типа обладают обычно большим коэффициентом усиления и сравнительно большой выходной мощностью. Максимальное акустическое усиление (по звуковому давлению от микрофона до уха) составляет в таких аппаратах 70—85 дБ; среднее усиление, определяемое согласно рекомендациям конференции производителей слуховых аппаратов (HAIC) как среднее значение из коэффициентов усиления аппарата на частотах 500, 1000 и 2000 Гц, составляет у карманного слухового аппарата 65—75 дБ (1800—5600 раз). Согласно тем же рекомендациям диапазоном усиливаемых (воспроизводимых) частот считается полоса





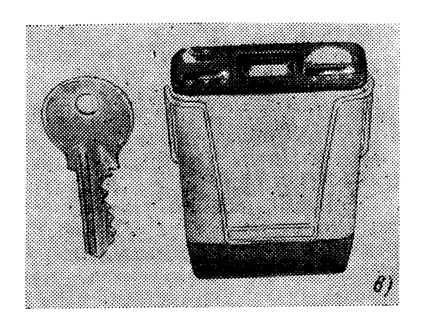
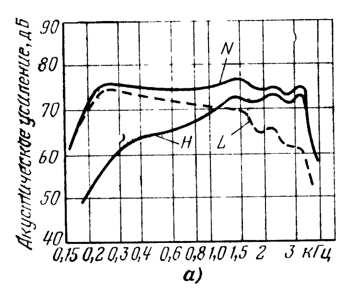


Рис. 19. Карманные слуховые аппараты.

а — модель АК-1; *б* — модель «Euroton»; *в* — модель № 370.

частот при неравномерности ±10 дБ, т. е. полоса частот, в пределах которой усиление изменяется не более чем на 20 дБ.

Максимальный выходной уровень звукового давления, создаваемый воздушным телефоном карманного аппарата, равен 120—145 дБ; средний выходной уровень по НАІС 115—135 дБ (0 дБ соответствует 20 мкПа). В некоторых моделях карманных аппаратов предусмотрена возможность ограничения выходного уровня сигнала сжатием динамического диапазона автоматическим регулятором громкости или безынерционным ограничителем, срезающим пики сигнала. Последнее хотя и приводит к некоторым искажениям, но



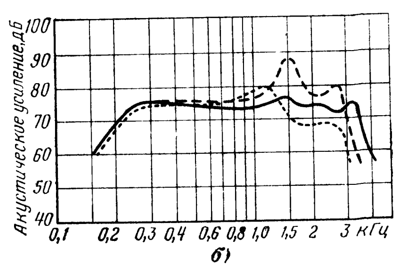


Рис. 20. Амплитудно-частотные характеристики карманного аппарата модели 371/PP.

а — получаемые регулятором тона; *б* — **заменой воздушного телефона.**

при ограничении уровня на 10—15 дБ мало заметно. В отличие от автоматического регулятора громкости ограничитель действует практически мгновенно. Благодаря этому короткие пики ограничиваются без изменения общего уровня.

Чтобы повысить разборчивость телефонного разговора, акустическая связь между слуховым аппаратом и микротелефонной трубкой заменена индуктивной, что значительно снижает искажения. Для обеспечения индуктивной связи большинство слуховых аппаратов снабжены дополнительной катушкой индуктивностью около 0,2 Г (с незамкнутым стальным или ферритовым сердечником), включаемой вместо микрофона слухового аппарата при разговоре по телефону. Способ индуктивной связи, первоначально предназначавшийся для разговора по телефону, получил в дальнейшем широкое распространение для связи с помощью слухового аппарата учеников с преподавателем в школах для детей с ослабленным слухом, для слушания театральных постановок, кинофильмов, радиовещательных и телевизионных программ.

В последних моделях карманных аппаратов отверстие (сетка) микрофона и органы управления расположены на верхней стороне аппарата. К органам управления относятся выключатель источника питания (в некоторых моделях он объединен с переключателем, включающим вместо микрофона катушку связи), ручки регулятора громкости и регулятора тона. Последняя дает возможность получить три частотных характеристики аппарата: наиболее широкополосную (нормальную) с диапазоном усиливаемых частот 180—4200 Гц при неравномерности ±10 дБ и характеристик с ослаблением составляющих низших или высших частот (рис. 20,*а*). Эти ха-

рактеристики обозначены соответственно *N*, *H*, *L*. Кроме того, применяя телефоны с различными частотными характеристиками, можно увеличить пределы изменения частотной характеристики слухового аппарата. Это видно из рис. 20,*б*, на котором приведены частотные характеристики коэффициента усиления по звуковому давлению для трех различных телефонов (при нормальном положении регулятора тембра).

Наконец, один и тот же тип слухового аппарата может комплектоваться пьезокерамическим микрофоном вместо электромагнитного Это позволяет улучшить частотную характеристику аппа-

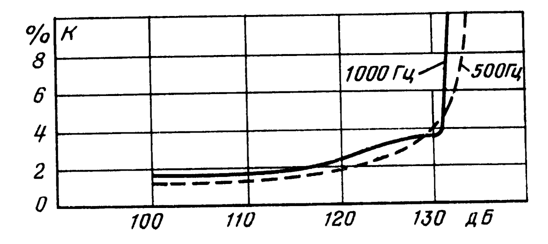


Рис. 21. Зависимость коэффициента нелинейных искажений карманного аппарата модели 375 РР от выходного уровня.

рата в области низших частот и тем самым повысить натуральность звуковоспроизведения.

Указанные возможности изменения частотной характеристики слухового аппарата позволяют наилучшим образом согласовать ее с индивидуальной аудиограммой плохослышащего.

Слуховыми аппаратами карманного типа чаще всего пользуются лица со значительной потерей слуха, достигающей в среднем 55—75 дБ. Иногда для повышения громкости (при небольшой разнице в потере слуха между ушами) к карманному слуховому аппарату присоединяют параллельно два воздушных телефона. Применяя в слуховом аппарате телефон с увеличенным значением полного сопротивления, например 270 вместо 100 Ом или 1000 вместо 270 Ом, уменьшают потребляемый ток, а также снижают приблизительно на 10 дБ максимальные коэффициенты усиления и уровень звукового давления. Если потеря слуха различна, то на хуже слышащем ухе используют телефон с меньшим сопротивлением. Он потребляет бо́льшую мощность и создает бо́льшую громкость.

Нелинейные искажения в слуховых аппаратах ухудшают качество передачи и понижают разборчивость речи. При максимальной выходной мощности слухового аппарата коэффициент нелинейных искажений может достигать 30% и более; однако в последних моделях, как это следует из рис. 21, он равен всего 4%, до выходного уровня немногим больше 130 дБ, что соответствует весьма большому звуковому давлению, равному 63 Па.

Костный телефон удерживается на мастоиде с помощью стального пружинного оголовья (дуги), лежащего на голове; для удобного расположения телефона в нужном месте оголовье имеет двойной шарнир вблизи закрепления телефона

Воздушный телефон удерживается в ушной раковине с помощью мягкого или жесткого пластмассового вкладыша; образцы таких вкладышей показаны на рис. 22.

Большинство моделей карманного слухового аппарата питаются от перезаряжаемого малогабаритного аккумулятора или от ни-

кель-кадмиевого сухого элемента напряжения 1,3 или 1,5 В, только самые мощные аппараты работают от двух элементов напряжением 2,6 В Потребляемый аппаратом ток составляет 3—12 мА

Для уменьшения шумов, создаваемых трением карманного аппарата об одежду, его поверхность полируют, а микрофон хорошо виброизолируют от корпуса и снабжают мягкими выводами. Габариты большинства карманных слуховых аппаратов невелики: длина (высота) 50—100, ширина 40—50, толщина 15—20 мм, масса 50—100 г.

В настоящее время карманные слуховые аппараты не имеют большого распространения за рубежом; они составляют приблизи-

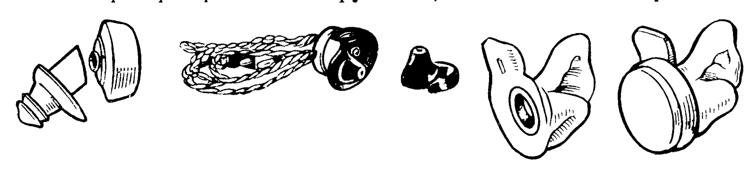


Рис. 22. Ушные вкладыши.

тельно 15% всех находящихся в эксплуатации аппаратов. Тем не менее фирмы-производители продолжают работу по модернизации карманных слуховых аппаратов. Так, совсем недавно фирма «Danavox» (Дания) выпустила мощный стереофонический слуховой аппарат модели 717 РР для развития остатков слуха у детей. Этот аппарат содержит ограничитель выходного уровня; его максимальное усиление 60 дБ на частоте 1000 Гц, а максимальный выходной уровень 137 дБ Регулятор тембра имеет три положения (N, H_1, H_2). Аппарат питается от аккумулятора напряжением 6 В.

Слуховые очки — аппарат в очковой оправе (заушнике). Вначале для одного аппарата использовались оба заушника, но миниатюризация деталей позволила разместить аппарат в одном заушнике вместе с воздушным телефоном Это дало возможность сделать бинауральные слуховые очки, поместив в каждом заушнике по аппарату. Усиленный звук подводится к уху тонкой пластмассовой трубочкой, заканчивающейся эластичным наконечником (ушным вкладышем).

Выпускаются в сравнительно небольшом количестве слуховые очки и для передачи звука по костной проводимости. В таких слуховых очках костный телефон (вибратор) также помещен в заушнике, однако в этом аппарате используются оба заушника, так как во избежание виброакустической обратной связи, которая подобно акустической приводит к свисту, необходимо удалить костный телефон от микрофона. Для электрического соединения частей, размещенных в обоих заушниках, в оправу стекол запрессовывают два проводника, которые через шарнир и дополнительные контакты соединяются с каждым заушником

В костных слуховых очках (в отличие от очков воздушной проводимости) длина заушника должна быть строго определенной длины с тем, чтобы вибратор, находящийся в заднем конце заушника, был расположен напротив мастоида. Последнее обстоятельство несколько усложняет индивидуальную подгонку аппарата.

В слуховых очках для воздушной проводимости необходимая длина заушника устанавливается с помощью вставки, помещаемой между шарниром на оправе стекол и собственно заушником с аппаратом. Для этой цели выпускаются вставки различной длины (рис. 23). Некоторые фирмы выпускают только заушники со слухо-

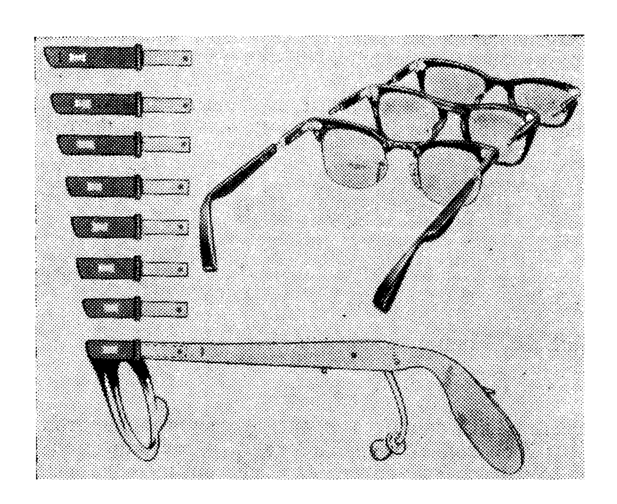


Рис. 23. Вставки различной длины для слуховых очков.

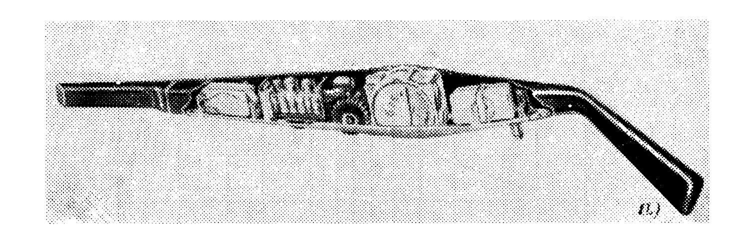
вым аппаратом и без него (для комплекта), а оправу владелец аппарата подбирает по своему вкусу и расстоянию между глазами.

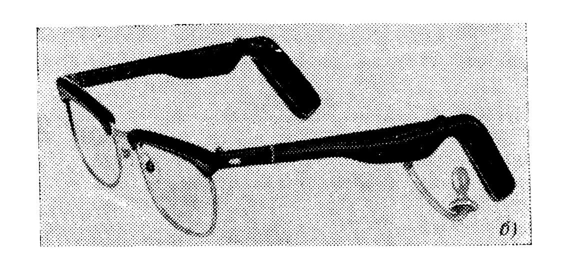
В костных слуховых очках необходимая длина заушника обеспечивается так же, как в очках для воздушной проводимости (промежуточной вставкой). Однако ее конструкция и закрепление немного сложнее из-за необходимости электрического соединения с оправой стекол. На рис. 24 приведены внутренний и внешний вид слуховых очков для воздушной проводимости, а также внешний вид костных слуховых очков.

Максимальное усиление по звуковому давлению слуховых очков для воздушной проводимости достигает в отдельных моделях до 55 дБ (560 раз), а среднее — 50 дБ (320 раз). Однако реализовать такое усиление затруднительно из-за возникновения акустической связи. Поэтому приходится принимать меры к уплотнению ушного вкладыша (наконечника) в слуховом проходе и, в частности, отливать иногда индивидуальный ушной вкладыш (по слепку). По тем же причинам индивидуальные вкладыши делают иногда и для карманных слуховых аппаратов.

Максимальный выходной уровень звукового давления доходит у слуховых очков до 125, средний до 120 дБ. Частотный диапазон усиливаемых звуков составляет приблизительно от 450 до 4800 Гц при неравномерности ±12 дБ. Применяя в слуховых очках пьезокерамический микрофон вместо электромагнитного, диа-

пазон частот можно расширить до 180 Гц, чем обеспечивается большая натуральность звука для тех, у кого понижение слуха связано с поражением преимущественно звукопроводящей части органа слуха. Поскольку слуховые очки для костной проводимости





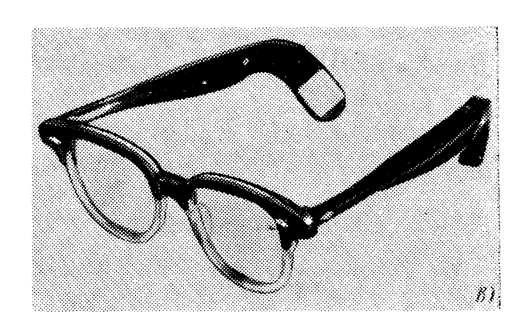


Рис. 24. Слуховые очки.

а — внутренний вид; *б* — модель НВ-1 (Венгрия) для воздушной проводимости (для левого уха); *в* — модель RX-88 (США) для костной проводимости (для правого уха).

одновременно с усилением преобразуют звуковое давление в колебательное ускорение, то для них акустические данные не приводятся.

Наличие в слуховых очках регулятора тембра не является обязательным. Такой регулятор содержится в некоторых моделях слу-

ховых очков для воздушной проводимости, в частности с пьезокерамическим микрофоном. Этот регулятор имеет вид головки винта («под шлиц») и расположен с внутренней боковой стороны заушника; регулятор дает возможность ослабить составляющие низших частот и имеет два положения: *N* и *H*. В слуховых очках для костной проводимости подобный регулятор имеет три положения (как в карманном слуховом аппарате).

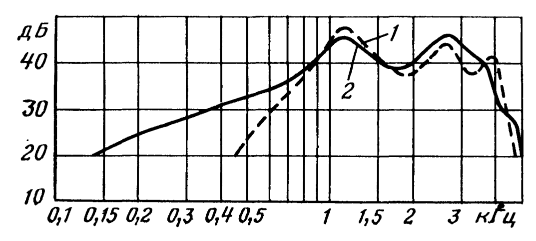


Рис. 25. Частотная характеристика усиления слуховых очков.
1 — с пьезокерамическим микрофоном; *2* — с электромагнитным микрофоном.

Подавляющее большинство слуховых очков содержат катушку индуктивной связи для разговора через телефонный аппарат. Частотная характеристика усиления слуховых очков «Oticon» модели 835U по звуковому давлению приведена на рис. 25. Выпускаются также слуховые очки для воздушной проводимости с ограничителями выходного уровня, подобными применяемым в карманных слуховых аппаратах, т. е. типов AVC (АРУ) или PC.

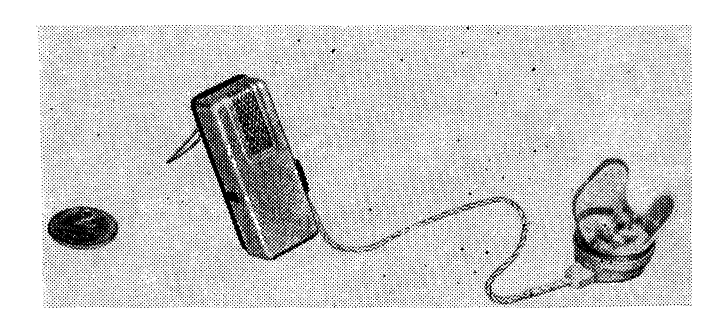


Рис. 26. Слуховой аппарат «заколка».

Слуховые очки питаются от одного аккумулятора или элемента напряжением 1,3 В и потребляют ток от 1,8 до 3,2 мА. Исключение составляют некоторые модели слуховых очков для костной проводимости, питающихся от двух элементов или аккумуляторов, помещенных по одному в каждом заушнике очков.

Слуховые очки составляют за рубежом приблизительно 25% всех используемых слуховых аппаратов. Обычно слуховыми очками пользуются те, кто носят очки для улучшения зрения.

Заушный слуховой аппарат. Наиболее распространенным типом слухового аппарата является миниатюрный аппарат для воздушной проводимости, носимый за ушной раковиной и поэтому называющийся «заушником». Появлению этого аппарата предшествовал миниатюрный слуховой аппарат «заколка», который женщины могли помещать в прическе. Внешний вид одного из таких аппаратов, которые выпускались за рубежом до начала 60-х годов, показан на рис. 26.

Слуховой аппарат «заушник» очень удобен для ношения. За ухом он удерживается на крючке из пластмассы, выходящим из корпуса аппарата и огибающим верхнюю часть ушной раковины. Этот крючок полый и вместе с гибкой поливинилхлоридной трубочкой, надетой на его конец, служит звукопроводом; гибкая трубочка заканчивается эластичным наконечником, помещаемым в слуховой проход.

Этот аппарат появился в 1954—1957 гг. и благодаря успехам миниатюризации сильно уменьшился в размерах за прошедшие годы (рис. 27). Последние модели аппарата «заушник» мало уступают по своим акустическим данным карманному слуховому аппарату: акустическое усиление и выходной уровень звукового давления соответствуют большинству карманных аппаратов. Правда, частотный диапазон усиливаемых звуков несколько меньше, чем у карманного слухового аппарата, но недавно выпущенная фирмой «Siemens» модель «Auriculina-HF» (389) с пьезокерамическим микрофоном воспроизводит звуки в полосе частот от 125 до 500 Гц. Слуховые аппараты заушного типа содержат катушку индуктивности для разговора через телефонный аппарат и выпускаются как с электромагнитным, так и с пьезокерамическим микрофоном; некоторые модели (с электромагнитным микрофоном) содержат ограничитель максимальных уровней (динамического диапазона) типов AVC или PC. За исключением моделей слухового аппарата «заушник» с пьезокерамическим микрофоном, имеющих подобно слуховым очкам регулятор тембра и позволяющих снизить усиление низших частот, большинство таких аппаратов не имеют регуляторов тембра. Изменение частотной характеристики иногда осуществляется акустическим фильтром в звукопроводе, а в области

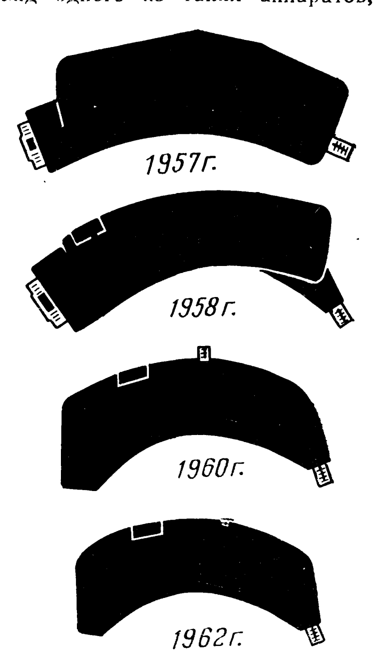
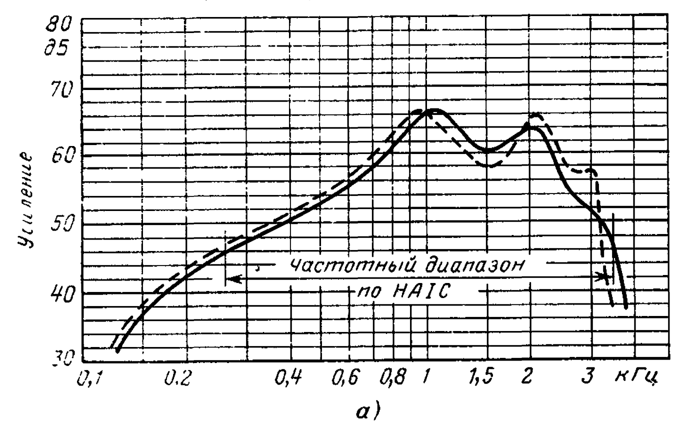


Рис. 27. Уменьшение размеров слухового аппарата «заушник» модели «Trabant» за пять лет.

низших частот характеристику можно изменить дополнительным отверстием в звукопроводе (см. ниже).

Диапазон звуков, усиливаемых большинством аппаратов «заушник», составляет (по HAIC) от 250—450 до 3500—4500 Гц; частотная характеристика усиления и максимального выходного



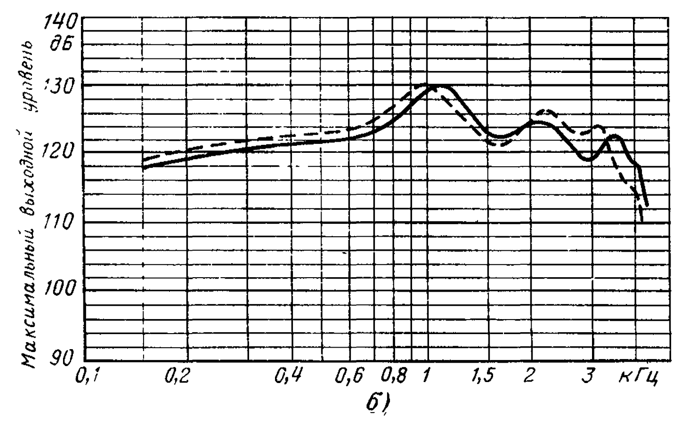
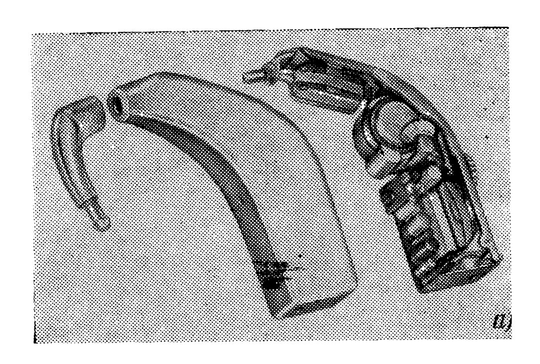


Рис. 28. Частотные характеристики слухового аппарата «заушник» модели 560 PPX

а — акустического усиления; *б* — максимального выходного уровня. ———— — характеристика аппарата со звуководной трубкой внутренним диаметром 2 и длиной 40 мм (полый крючок удален); — — — — — характеристика аппарата с крючком и звуководной трубкой длиной 25 мм.

стотная характеристика усиления и максимального выходного уровня звукового давления одной из моделей самого мощного слухового аппарата «заушник» датской фирмы «Oticon» (модель 560 PPX) приведена на рис. 28. Из характеристик видно, что среднее акустическое усиление (по HAIC) равно 61 дБ, а максимальный уровень звукового давления равен 126 дБ

Внешний вид и устройство двух моделей слухового аппарата «заушник» показаны на рис. 29. Габариты слуховых аппаратов «заушник» следующие: длина 48—54, ширина 14—17, толщина 9—12 мм, масса 7—9 г.



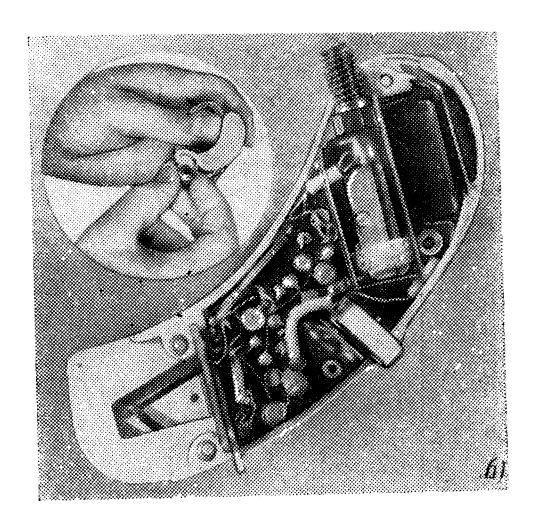


Рис. 29. Слуховые аппараты «заушник».
а — модель «Danavox-645»; *б* — модель «Omniton-Star».

В последних моделях слухового аппарата «заушник» применен однонаправленный пьезокерамический микрофон. Этот микрофон ослабляет действие окружающих шумов. Чувствительность к звукам, приходящим сзади, приблизительно на 15 дБ меньше, чем к звукам, приходящим спереди. Это способствует лучшему опреде-

лению направления, с которого приходит звук, т. е. бо́льшей локализации звука, чем при ненаправленном микрофоне. Характеристики направленности слухового аппарата «заушник» с таким микро-

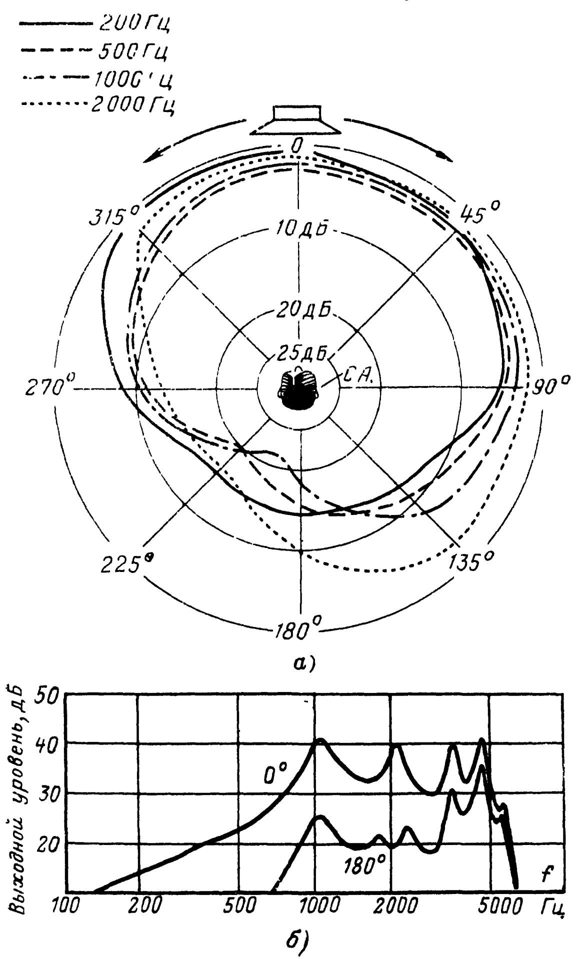


Рис 30. Характеристики направленности слухового аппарата «заушник» модели 568 «Oticon».

а — полярные; *б* — амплитудно-частотные для звуков, приходящих спереди (0°) и сзади (180°).

фоном (модель 568 «Oticon»), помещенного за правым ухом, приведены на рис. 30

Существует еще одна модификация слухового аппарата «заушник», сделанная с целью его удешевления и упрощения. Эта модификация состоит в том, что в отличие от большинства моделей

этого типа телефон воздушной проводимости вынесен наружу и закрепляется в ушной раковине с помощью ушного вкладыша, как в аппарате карманного типа. Это устранило возможность возникновения виброакустической обратной связи и упростило конструкцию аппарата. Удешевление такого «заушника» объясняется тем, что внутренний телефон, имеющий существенно меньший объем, стоит значительно дороже обычного малогабаритного телефона, помещаемого в ушной раковине.

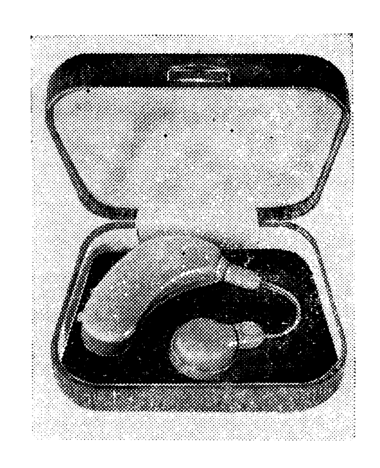


Рис. 31. Упрощенная модель слухового аппарата «заушник».

Использование в аппарате «заушник» наружного телефона позволяет упростить и регулировку тембра. По низшим частотам она осуществляется заменой типа телефона, а по высшим частотам — акустическим фильтром в выходном отверстии (ниппеле) телефона.

Внешний вид упрощенного аппарата «заушник» модели «Companion» фирмы «Amplivox» показан на рис. 31, а его частотные характеристики акустического усиления — на рис. 32.

Слуховые аппараты «заушник» чувствительны к шумовой помехе, создаваемой ветром на открытом воздухе. Поэтому некоторые модели аппаратов «заушник», содержащие пьезокерамический микрофон, снабжаются противоветровой защитной сеткой на входном отверстии микрофона. Корпусы заушных аппаратов делают из пластмассы, причем для лучшей маскировки аппарата цвет корпуса можно подобрать под цвет волос. Все слуховые аппараты «зауш-

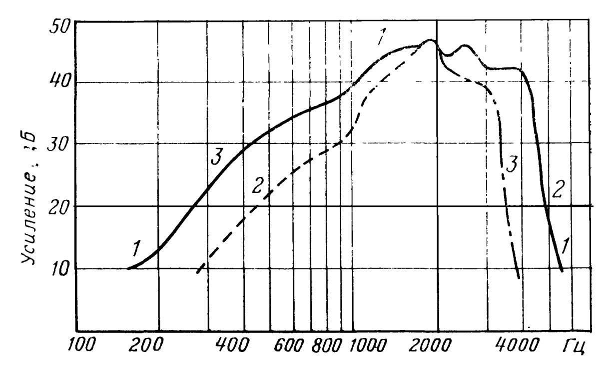
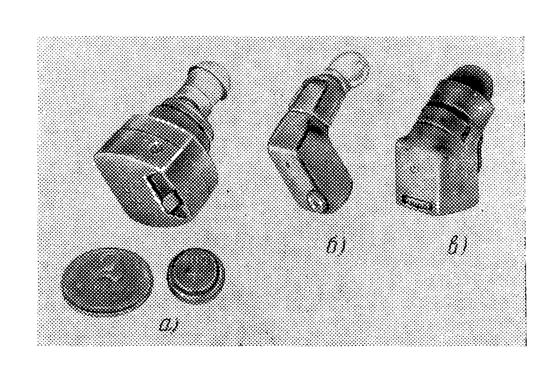


Рис. 32. Частотные характеристики акустического усиления упрощенной модели слухового аппарата «заушник» при двух различных телефонах (*1* и *2*) и первым телефоном и акустическим фильтром в его ниппеле (*3*).

ник» питаются от одного сухого элемента или аккумулятора диаметром 11,5 и толщиной 5,5 мм; потребляемый ток от 0,5 до 3,2 мА.

Слуховые аппараты заушного типа составляет приблизительно 50% всех находящихся в эксплуатации за рубежом типов слуховых



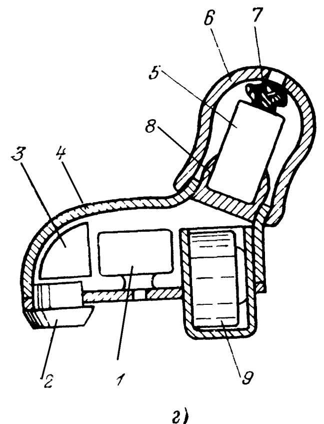


Рис. 33. Слуховые аппараты, помещаемые в ухе.

а — модель 222; *б* — модель «Siretta»; *в* — модель «Rexton Perfect pearl»; *г* — расположение деталей в модели (*1* — микрофон; *2* — регулятор громкости; *3* — усилитель; *4* — корпус; *5* — телефон; *6* — ушной вкладыш; *7* — вата; *8* — держатель телефона; *9* — элемент).

аппаратов: в нашей стране аппараты такого типа пока не выпускаются.

Слуховой аппарат, помещаемый в ухе. Последним (наименее распространенным типом слухового аппарата) является миниатюрный аппарат с телефоном воздушной проводимости, помещаемый в ушной раковине и части слухового прохода. Аппарат удерживается в ухе с помощью ушного вкладыша. На рис. 33,*а* показана первая модель такого аппарата, выпущенная в 1957 г. фирмой «Sonotone» (США). На рис. 33,*б*, *в* показаны аналогичные аппараты моделей «Siretta» фирмы «Siemens» (ФРГ) и «Rexton Perfect pearl» фирмы «Bommer» (Швейцария). В первой модели для выключения аппарата надо было удалить элемент, так как регулятор

громкости был скрытым. В последующих моделях регулятор громкости объединен с выключателем и легко доступен. Совсем недавно фирма «Viennatone» (Австрия) выпустила аппарат модели «Prestige AH-AVC», содержащий ограничитель выходного уровня, что вряд ли можно считать целесообразным, учитывая невысокий коэффициент усиления аппарата.

В аппаратах, помещаемых в ухе, микрофон и телефон расположены с противоположных сторон и тщательно виброизолируются один от другого (рис. 33,*в*). Вследствие незначительного расстояния между ними и опасностей возникновения виброакустической обратной связи, максимальное акустическое усиление таких аппаратов составляет около 40 дБ, а максимальный уровень звукового давления равен 114 дБ; частотный диапазон усиливаемых звуков составляет 600—2500 Гц. Объем аппарата около 2 см³; масса 3,5 г.

Слуховые аппараты питаются от одного элемента или аккумулятора уменьшенного диаметра 8 и толщиной 5 мм; потребляемый ток составляет 0,75—1,25 мА.

В связи с тем, что слуховые аппараты, помещаемые в ухе, предназначены для людей с небольшим понижением слуха и ввиду их невысоких акустических показателей, эти миниатюрные аппараты распространены меньше и составляют лишь 10% от общего числа находящихся в эксплуатации за рубежом слуховых аппаратов.

МИКРОФОНЫ И ТЕЛЕФОНЫ ДЛЯ СЛУХОВЫХ АППАРАТОВ

Частотная характеристика акустического усиления любого слухового аппарата формируется под влиянием характеристик его основных элементов (микрофона, усилителя и телефона). При этом основное влияние оказывают частотные характеристики микрофона и телефона, поскольку характеристика усилителя достаточно равномерная в широком диапазоне частот.

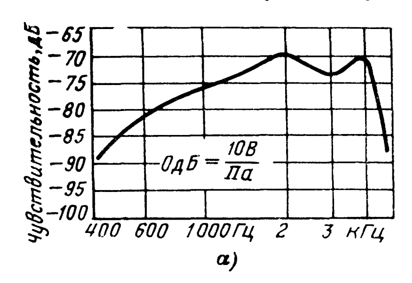
В первых транзисторных слуховых аппаратах использовались пьезоэлектрические микрофоны, требовавшие входных понижающих трансформаторов. Это усложняло аппарат, ухудшало его показатели и делало его менее надежным. Вскоре были разработаны многочисленные конструкции малогабаритных электромагнитных микрофонов специально для слуховых аппаратов. Они применяются в подавляющем большинстве типов слуховых аппаратов.

Принцип действия микрофона электромагнитной системы состоит в том, что якорь из мягкой или специальной стали, колеблющийся от падающих на диафрагму (мембрану) микрофона звуковых волн, воздействует на магнитное поле, образованное постоянным магнитом. В результате в катушке, намотанной поверх якоря или полюсных наконечников и расположенной в том же магнитном поле, возникает э. д. с. Чаще используется дифференциальная (балансная) магнитная система, повышающая чувствительность микрофона. В этой системе при колебаниях диафрагмы микрофона, жестко связанной с якорем, происходит разбалансировка двух противоположно направленных постоянных магнитных потоков в катушке. В результате возникает переменный магнитный поток, индуцирующий в катушке э. д. с.

Дифференциальная магнитная система подобна измерительному мосту (Уитстона); в ней катушка играет роль гальванометра, воздушные зазоры эквивалентны плечам моста, а магнит — источ-

нику постоянного напряжения, питающему мост. Представление о миниатюрности магнитной системы могут дать размеры некоторых деталей одного из микрофонов: магнит из самария-кобальта — 3×2,5×1 мм, катушка — 4,5×2×2,2 мм, толщина алюминиевой диафрагмы 12—18 мкм.

Для уравнивания статического давления по обе стороны диафрагмы и обеспечения этим симметричного расположения якоря



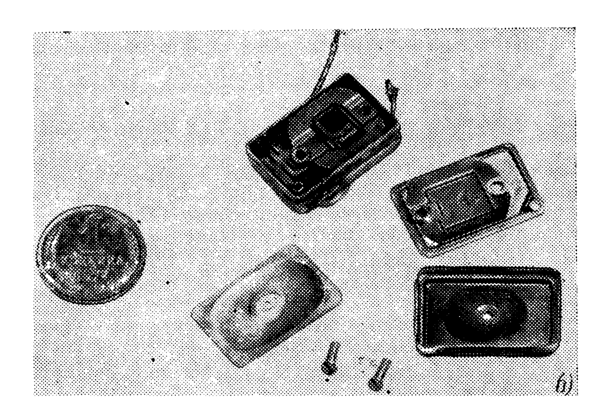


Рис. 34. Электромагнитный микрофон.

а — частотная характеристика чувствительности микрофона BL1591; *б* — микрофон КЕ-1398 в разобранном виде.

в зазоре, электромагнитные микрофоны содержат трубочку, идущую от передней части диафрагмы к закрытому корпусу микрофона. Наличие этой трубочки оказывает значительное влияние на низкочастотную область частотной характеристики микрофона. Для акустической коррекции частотной характеристики и демпфирования микрофона часто используют воздушные объемы по обе стороны диафрагмы, соединяющиеся каналами между собой и с наружным отверстием. С этой целью в некоторых микрофонах корпус делают двойным, а в боковой стенке внутреннего корпуса выдавливают канавки, образующие вместе со стенкой наружного корпуса акустические каналы. Входное отверстие микрофона часто де-

лают сбоку в одном из этих каналов. Чувствителньость электромагнитного микрофона пропорциональна количеству витков обмотки и величине магнитного потока.

Один из самых миниатюрных электромагнитных микрофонов выпускается фирмой «Knowles» (США). Он имеет следующие размеры длина 7,92 мм, ширина 5,6 мм и толщина 4,06 мм. Его активное сопротивление 900 Ом, а полное сопротивление на частоте

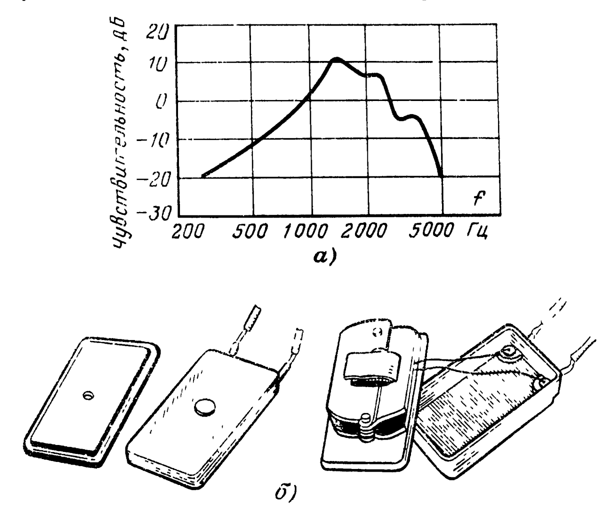


Рис. 35. Микрофон типа М1.
а — частотная характеристика чувствительности; *б* — устройство.

1 кГц — 5000 Ом. Этот микрофон представляет собой обратимую систему, т. е. может использоваться и в качестве телефона. Частотная характеристика чувствительности микрофона при нагрузке 5000 Ом показана на рис. 34,*а*. Максимальная чувствительность на частоте 2 кГц составляет 2,8 мВ/Па, частотный диапазон принимаемых микрофоном звуков занимает область от 600 до 4400 Гц; неравномерность частотной характеристики ±5 дБ.

Другой миниатюрный электромагнитный микрофон типа ММ301, выпущенный фирмой «Sennheiser» (ФРГ), имеет размеры 10×7×4 мм; его полное сопротивление на частоте 1000 Гц 4500 Ом, чувствительность при нагрузке 4500 Ом 1,6 мВ/Па. Частотная характеристика микрофона простирается от 500 до 5500 Гц при неравномерности ±5 дБ. Устройство микрофона показано на рис. 34,*б*.

Отечественная промышленность выпускает два типа электромагнитных микрофонов для слуховых аппаратов. Они имеют размеры: 16×11×6 мм при массе 7 г и 24×6×8 мм при массе 10 г. Частотная характеристика и устройство микрофона типа М1 показаны на рис. 35. Активное сопротивление его обмотки 250—300 Ом; при этом чувствительность на частоте 1000 Гц достигает 4 мВ/Па. Корпус электромагнитных микрофонов делается из ферромагнитного материала для защиты от воздействия внешних магнитных полей.

В последние годы для слуховых аппаратов созданы пьезокерамический и конденсаторный (электретный) микрофоны.

Миниатюрный пьезокерамический микрофон для слуховых аппаратов разработан по заказу фирмы «Knowles» с целью расширения частотного диапазона. Его частотная характеристика приве-

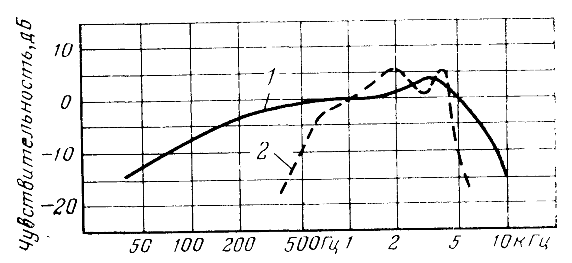


Рис. 36. Частотные характеристики чувствительности пьезокерамического (*1*) и электромагнитного (*2*) микрофонов.

дена на рис. 36. Здесь же (для сравнения) пунктиром нанесена характеристика широко используемого электромагнитного микрофона. Следует отметить, что во избежание перегрузок усилителя слухового аппарата звуками низших частот его чувствительность на частоте 250 Гц снижена на 3 дБ Увеличение чувствительности усилителя на 4 дБ на частоте 3 кГц компенсирует снижение чувствительности уха, закрытого телефоном или ушным вкладышем, и тем самым повышает натуральность звучания. Для уменьшения электрических наводок на выводы пьезокерамического микрофона внутрь последнего встроен усилительный каскад на полевом транзисторе (рис 37), рассчитанный на питание от батареи напряжением 1,1 В. Это позволило снизить выходное сопротивление микрофона до 12 кОм; потребляемый транзистором ток составляет 0,025 мА. Размеры микрофона 8×5,5×4 мм, чувствительность около 16 мВ/Па, что почти на порядок выше чувствительности электромагнитного микрофона, имеющего те же размеры Уровень собственного шума пьезокерамического микрофона вследствие расширения рабочего диапазона частот на 5 дБ выше, чем у электромагнитного

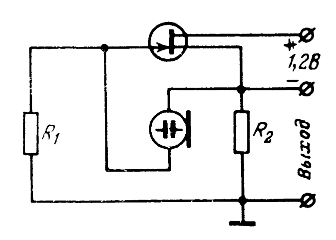


Рис. 37. Схема усилительного каскада.

На рис. 38 показаны микрофоны с амортизирующим креплением из мягкой резины фирмы «Knowles»: электромагнитный типа АО2627, применяемый в карманных слуховых аппаратах (рис 38,*а*) и пьезокерамический типа BL1671, применяемый в карманных и заушных слуховых аппаратах (рис 38,*б*)

Последним усовершенствованием пьезокерамического микрофона является повышение его направленности. В то время как обычный ненаправленный микрофон обладает почти одинаковой чувствительностью для звуков, приходящих со всех направлений,

новый микрофон имеет бо́льшую чувствительность для фронтальных звуков. Различие чувствительности «фронт — тыл» у этого микрофона на частоте 1000 Гц составляет около 17 дБ

Направленность микрофона создается воздействием на обратную сторону его диафрагмы звуковых волн с противоположной

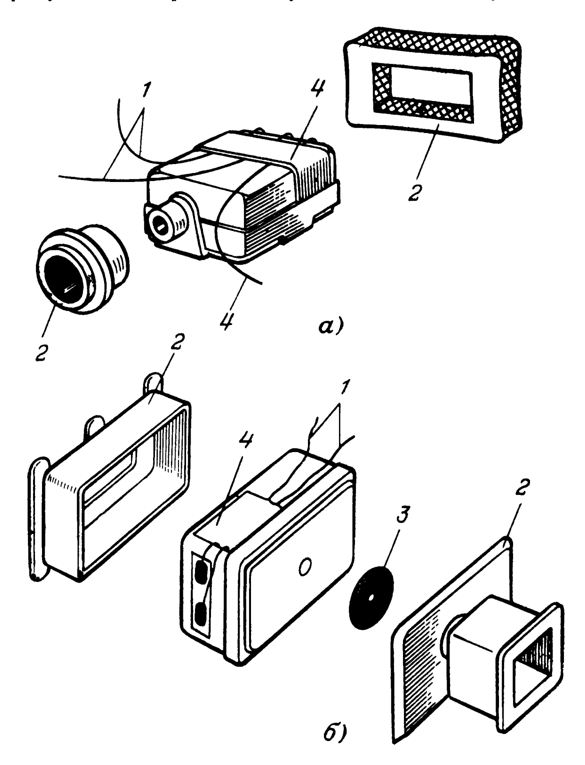


Рис. 38. Внешний вид микрофонов с амортизирующим креплением.
а — пьезокерамический типа BL1671, *б* — электромагнитный типа АО2627
1 — гибкие выводы; *2* — резиновое крепление, *3* — клейкий диск; *4* — клейкая лента.

фазой. Поворот фазы происходит при прохождении волн через фазовращатель Последний выполнен в виде малых коротких отверстий в задней стенке (дне) корпуса. Устройство одного из направленных пьезокерамических микрофонов фирмы «Willco» (ФРГ) показано на рис. 39. Он имеет размеры: 8,4×5,6×2,6 мм; на задней стороне корпуса в пластинке толщиной 0,07 мм сделано 14 отверстий диаметром 0,06 мм. Входное отверстие микрофона находится сбоку. Характеристики направленности заушного слухового аппарата с таким микрофоном и амплитудно-частотные характеристики аппарата для фронтальных звуков (0°) и приходящих сзади (180°) приведены на рис. 30.

Конденсаторный (электретный) микрофон применяется в слуховых аппаратах с 1969 г. вначале фирмой «Sony» (Япония), а в настоящее время многими фирмами Европы и США Он представляет собой конденсатор, состоящий из неподвижного электрода (базы) и подвижного (диафрагмы) с воздушной прослойкой между ними Под действием звуковых волн диафрагма колеблется, изменяя емкость конденсатора.

Для получения напряжения, пропорционального звуковому давлению, конденсаторный микрофон должен быть включен в цепь,

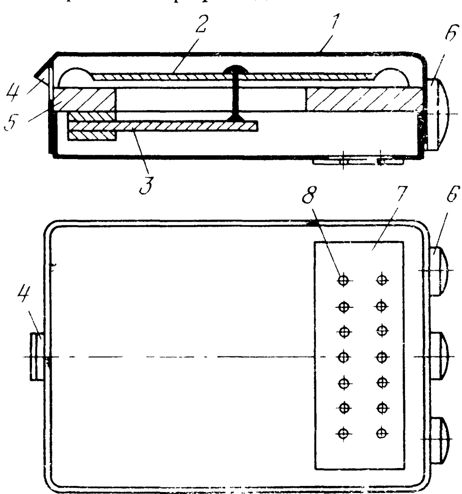


Рис 39 Устройство направленного пьезокерамического микрофона

1 — корпус; *2* — диафрагма; *3* — пьезокерамический брусочек; *4* — входное отверстие; *5* — перегородка, основание для крепления усилителя; *6* — вывод; *7* — пластинка толщиной 0,07 мм; *8* — отверстия диаметром 0,06 мм.

состоящую из резистора сопротивлением 100—200 МОм и источника постоянного поляризующего напряжения 45—200 В Тогда при увеличении емкости микрофона через резистор потечет ток заряда, а при уменьшении емкости — ток разряда, имеющий обратное направление. В результате на резисторе будет создаваться переменное напряжение, пропорциональное звуковому давлению

Необходимость в поляризующем напряжении делала невозможным применение конденсаторных микрофонов в современных слуховых аппаратах. Создание электретного конденсаторного микрофона, не требующего для своей работы поляризующего напряжения, открыло ему широкую возможность применения.

Электреты являются электрическим аналогом постоянного магнита в виде полимера (смолы) или керамики, несущих постоянный электрический заряд. Эта особенность некоторых материалов, обладающих свойствами диэлектриков, была обнаружена еще в 20-х годах, но не получила практического использования из-за недостаточной стабильности и долговечности электрического заряда. Большие успехи в изготовлении стабильных электретов были достигнуты в последнем десятилетии в различных странах. Если из элек-

третной пленки изготовить диафрагму или отлить из керамики базу конденсаторного микрофона, то такой микрофон не требует для работы поляризующего напряжения, поскольку диафрагма или база сами имеют поверхностный электрический заряд, соответствующий поляризующему напряжению 45—130 В.

В качестве электретной пленки обычно используется изоляционный материал (фторопласт) толщиной 6—15 мкм; базу отливают из термоэлектрета (титаната кальция). Поверхность пленки или базы металлизируется с одной стороны.

Поляризация пленки, т. е. образование электрета, осуществляется следующим образом. Фторопластовую пленку нагревают до температуры 230°С и выдерживают при постоянном напряжении около 4 кВ, приложенном между двумя параллельными металлическими пластинами, разделенными воздушным промежутком. Затем поляризуемой пленке дают возможность медленно остыть в постоянном электрическом поле, созданном приложенным к пластинам напряжением. Базу из керамики титаната кальция поляризуют, нагревая до 160°С при напряжении 1 кВ; после этого поляризованная база остаривается для стабилизации заряда (подогревом до 200°С).

Электретный конденсаторный микрофон (как и пьезокерамический) должен быть нагружен на усилитель с высоким входным сопротивлением (на полевом транзисторе или интегральной схеме). Частотная характеристика и чувствительность электретного микрофона подобны пьезокерамическому; в последнее время некоторые типы электретных микрофонов стали делать направленными, подобно пьезокерамическим.

В слуховых аппаратах применяют телефоны костной и воздушной проводимости только электромагнитного типа. Они отличаются высокой чувствительностью. Так, к. п. д. воздушного телефона достигает 20—30%. При переменном токе 1,5 мА, что соответствует электрической мощности 1 мВт, на частоте 1000 Гц такой телефон создает звуковое давление порядка 123 дБ (28 Па). Эти данные позволяют определить чувствительность этого телефона, равную 0,04 Па/мВ.

Высокая чувствительность телефонов воздушной и костной проводимости определяется как конструкцией, так и качеством постоянных магнитов, а также магнитной проницаемостью материала якоря (мембраны). Наилучшими для изготовления магнитов для телефонов являются сплавы альнико (ЮНДК-24) и магнико. Для мембран в отечественных телефонах применяется пермендюр (сплав кобальта, ванадия и железа).

Телефоны воздушной проводимости, применяемые в слуховых аппарагах, можно разделить на два типа: круглые, находящиеся снаружи аппарата, и прямоугольные или квадратные, находящиеся внутри аппарата. Телефон первого типа имеет бóльшие габариты и массу и используется в основном в карманных слуховых аппаратах. Обычно такие телефоны имеют концентрическую магнитную систему, в которой одна катушка надета на полюсный наконечник в центре системы, и ее охватывает магнит (рис. 40).

Большинство круглых телефонов имеют максимальную чувствительность на резонансной частоте 1—2 кГц; выше этой частоты чувствительность телефона падает. Резонансная частота определяется массами якоря и мембраны (диафрагмы), гибкостью последней, а также размерами воздушной полости перед мембраной и

сзади нее. Мембрана обычно не закрепляется по краям, а свободно лежит на краю корпуса; в центре ее с наружной стороны прикреплен (приварен) в одной точке якорь в виде диска диаметром около 9 мм из сплава с высокой магнитной проницаемостью. Корпус телефона делается из пластмассы, крышка (амбушюр) — из алюминия.

Большое значение для улучшения частотной характеристики воздушного телефона, качества звуковоспроизведения слухового аппарата и обеспечиваемой им разборчивости речи имеет акустическое демпфирование телефона.

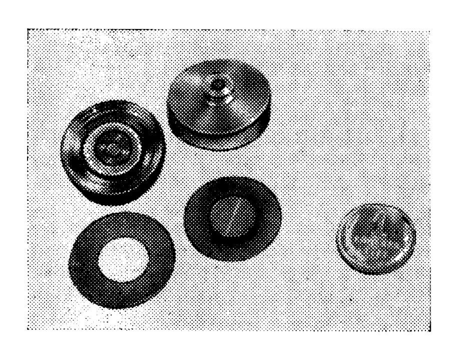


Рис. 40. Воздушный телефон с концентрической магнитной системой (в разобранном виде).

На рис. 41,*а* показана форма звуковых импульсов, воспроизводимых телефоном слухового аппарата, в зависимости от степени его демпфирования (цифры *1—3* характеризуют увеличение демпфирования). Легко видеть, что демпфирование улучшает частотную характеристику телефона и уменьшает искажения формы импульсов. В конструкции костного телефона не содержится никаких демпфирующих элементов, так как любой костного телефон удовлетворительно демпфируется кожно-тканевым покровом мастоида пользующегося телефоном лица.

Влияние демпфирования телефонов воздушной проводимости на их частотную характеристику видно из рис. 41,*б*. Характеристики проведены для двух телефонов до (пунктиром) и после их демпфирования (сплошная линия). Для получения частотной характеристики воздушного телефона с ослаблением чувствительности 4 дБ на октаву на низших частотах в диафрагме делается отверстие диаметром 0,45 мм. Круглый телефон имеет диаметр 18—22 мм, толщину 9—11 мм и массу 5—8 г; в ухе он удерживается ушным вкладышем из пластмассы. Образцы таких вкладышей приведены на рис. 22. Они выпускаются пяти размеров одинаковой конфигурации.

В тех случаях, когда из-за большой потери слуха приходится устанавливать слуховой аппарат на большое усиление, при котором в результате акустической обратной связи возникает генерация (свист), отливают по слепку индивидуальный ушной вкладыш. Такой вкладыш лучше закрывает слуховой проход и этим уменьшает обратную связь. Если телефон используется в мощном аппарате, имеющем, как правило, двухтактный выходной каскад, обмотку телефона делают с выводом от ее середины. Соединение телефона

со слуховым аппаратом осуществляется тоненьким шнуром с миниатюрными вилочками, на обоих концах которых имеется две или три ножки разной толщины.

Телефоны воздушной проводимости, помещаемые внутри слуховых очков и заушных слуховых аппаратов, чаще всего имеют пря-

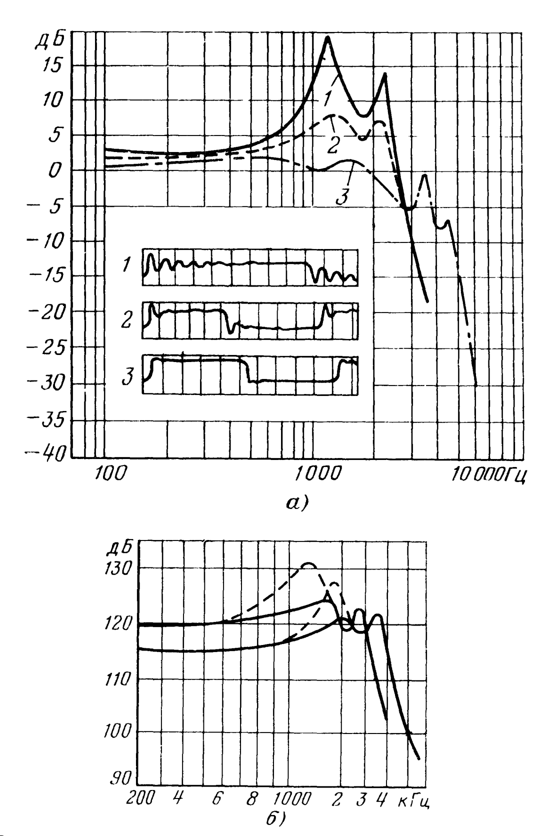


Рис. 41. Влияние демпфирования воздушного телефона.

а — на воспроизведение импульсов; *б* — на амплитудно-частотную характеристику

моугольную форму. Они значительно меньше и легче телефонов, вставляемых в ухо. Обычно телефон, используемый внутри аппарата, имеет такую же балансную магнитную систему, как микрофон. Часто телефон может использоваться в качестве микрофона, представляя собой обратимый электроакустический преобразователь.

На рис. 42 показан такой телефон фирмы «Knowles» с амортизирующим креплением из мягкой резины. Амортизатор необходим для уменьшения воздействия колебаний корпуса телефона на ми-

крофон. Частотная характеристика подобного телефона фирмы «Philips» (Голландия) приведена на рис. 43.

Частотная характеристика и чувствительность телефонов, устанавливаемых внутри или снаружи аппарата, зависят от одних и тех же факторов. Активное сопротивление телефонов, встроенных в аппарат, составляет 250—900 Ом; полное сопротивление — 1240—4700 Ом. В слуховых аппаратах с более высоким выходным уровнем звука применяют телефоны с меньшим сопротивлением. Это относится и к телефонам первого типа (круглым). Благодаря тому, что в телефонах, находящихся внутри аппарата, звук подводится к уху трубочкой, существует возможность акустической регулировки частотной характеристики телефона и всего аппарата. Для этого используют вставки с различными объемами отверстий. Вставки помещают в «заушнике» на обоих концах звуководного крючка, огибающего ушную раковину. Они образуют акустические фильтры. На рис. 44 показаны три такие вставки.

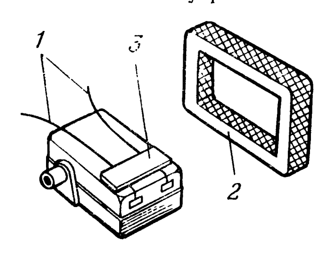


Рис. 42. Воздушный телефон с амортизирующим креплением, помещаемый внутри слуховых очков и заушников.

1 — гибкие выводы; *2* — резиновое крепление; *3* — липкая лента.

Другим акустическим способом изменения частотной характеристики «заушника» от низших частот примерно до 1400 Гц является использование отверстия диаметром 0,3—0,4 мм в звуководном крючке, что ведет к дополнительному ослаблению составляющих низших и средних частот. Влияние этого отверстия видно, например, из частотных характеристик заушника «Oticon» модели 580U (рис. 45). Такой способ, однако, применим только при усилении аппарата до 30—40 дБ (при средней потере слуха). При большем усилении может возникнуть свист из-за увеличения акустической обратной связи.

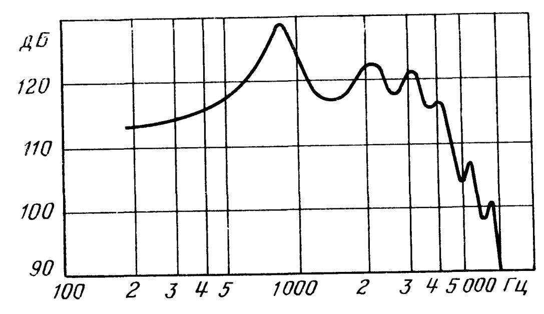


Рис. 43. Частотная характеристика уровня звукового давления телефона, помещаемего внутри аппарата.

Поливинилацетатная трубка с внутренним диаметром 2—2,5 мм, подводящая звук к уху от слуховых очков или крючка в заушном

аппарате, заканчивается мягким пластмассовым наконечником — ушным вкладышем. Он выбирается в зависимости от размеров слухового прохода из пяти показанных на рис. 46,*а*.

В 1971 г. фирма «Oticon» выпустила новую, весьма удачную, конструкцию ушного вкладыша — «экспан» для слуховых очков и

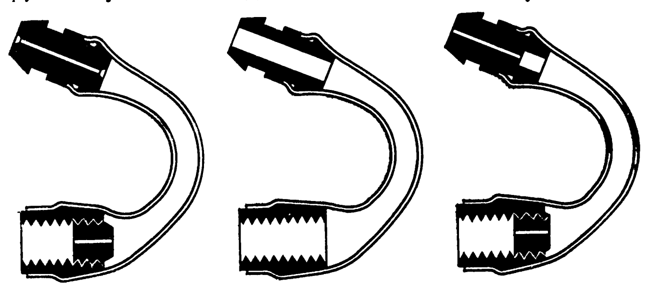


Рис. 44 Акустические фильтры, помещаемые в звуководном крючке заушника.

заушных слуховых аппаратов. Этот вкладыш может быть изменен в диаметре, что позволяет более точно подогнать его к слуховому проходу Последнее позволяет увеличить усиление без возникновения обратной связи.

Ушной вкладыш «экспан» (рис 46,*б*) состоит из трех частей. мягкого, каплеобразного прозрачного колпачка и двух прозрачных жестких пластмассовых деталей, скрепляемых между собой посредством резьбы после того, как на одну из них надет колпачок При этом колпачок сжимается и увеличивается в диаметре Поскольку «экспан» изогнут для лучшего прилегания к слуховому проходу, его следует помещать в правое и левое ухо согласно рис 46,*в*. На сосочек сбоку «экспана» надевается звуководная трубочка, идущая к слуховому аппарату. Такой вкладыш имеет еще одно достоинство: в нем очень просто просверлить отверстие (аналогичное отверстию в крючке заушника) (рис 46,*г*) и тем самым ослабить составляющие низших частот Это может быть полезным для тех, у кого понижение слуха охватывает область высших и отчасти средних звуковых частот

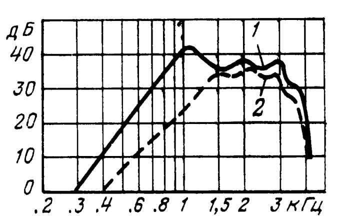


Рис. 45. Амплитудно-частотные характеристики заушника модели 580U с крючком.

1 — без отверстия; *2* — с отверстием.

Если диаметр ушного вкладыша недостаточен, то его можно увеличить, надев вырезанный из поролона цилиндрик толщиной 15 мм

Телефон костной проводимости предназначен для передачи звуковых колебаний (вибраций) мастоиду (косточке за ухом) В связи с этим его иногда называют вибратором. Устройство костного телефона существенно отличается от устройства воздушного. Костный телефон обычно имеет прямоугольную форму с сильно за-

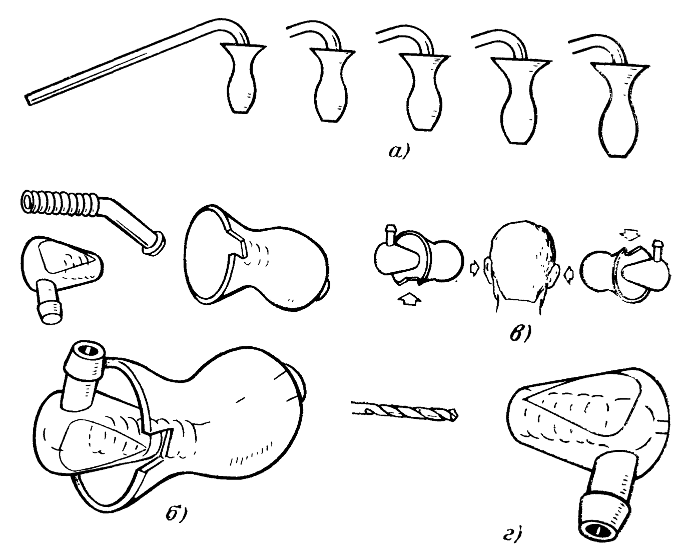


Рис. 46. Ушные вкладыши.
а — обычного типа, имеющие размеры от № 2 до № 6; *б, в, г* — «экспан».

кругленными углами (рис. 47,*а*). Подобно воздушному телефону он содержит магнитную систему и якорь; последний жестко связан с корпусом и донышком из пластмассы и упруго через плоскую s-образную пружину с магнитной системой (рис. 47,*б*); при этом магнитная система не касается корпуса. Корпус с донышком и яко-

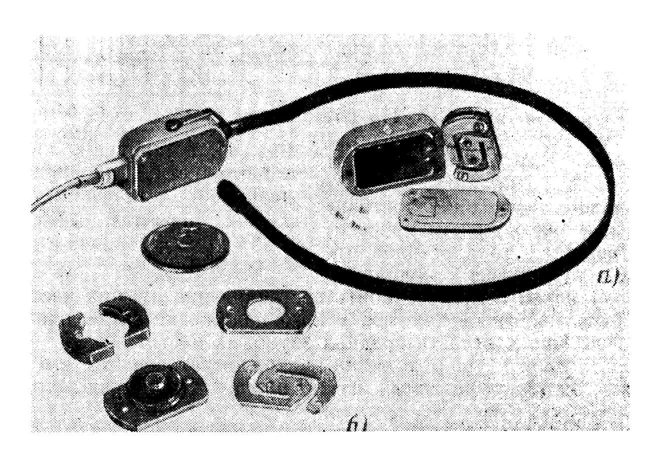


Рис. 47. Устройство костного телефона (*а*) и его детали (*б*).

рем и магнитная система представляют собой две массы, связанные плоской s-образной пружиной, поэтому при прохождении по обмотке телефона тока звуковой частоты возникают взаимные колебания магнитной системы и корпуса, которые и сообщаются мастоиду.

Костный телефон удерживается на мастоиде с помощью стального пружинного оголовья (дуги), которое для облегчения правильного расположения телефона на голове имеет двойной шарнир в месте соединения телефона с оголовьем. Чувствительность кост-

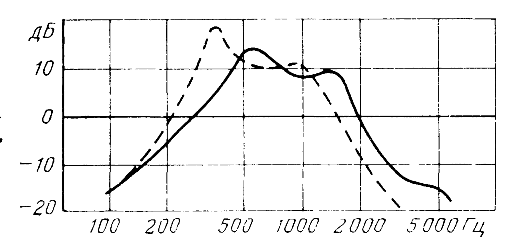


Рис 48 Амплитудно-частотные характеристики костного телефона.

ного телефона определяется теми же факторами, что и воздушного.

Регулировкой гибкости связи магнитной системы и якоря с корпусом можно в некоторых пределах изменять частотную характеристику костного телефона. Это видно на рис. 48, на котором приведены частотные характеристики костного телефона при различных гибкостях пружины, соединяющей корпус и магнитную систему.

Ввиду того что костный телефон работает на нагрузку, значительно превышающую нагрузку воздушного телефона, электрическая мощность, потребляемая костным телефоном, в несколько раз выше и может достигать 10 мВт. Масса костного телефона без оголовья составляет 13—20 г.

СХЕМЫ УСИЛИТЕЛЕЙ СЛУХОВЫХ АППАРАТОВ

Схемы усилителей, применяемых в слуховых аппаратах, разнообразны. Это обусловлено как различным усилением и выходной мощностью слуховых аппаратов, так и наличием или отсутствием в аппарате ограничения максимального выходного уровня звукового давления

Коэффициент акустического усиления слухового аппарата пропорционален произведению коэффициента усиления по напряжению ($K_н$) и чувствительностей микрофона ($E_м$) и телефона ($E_т$): $K = K_н E_м E_т$. Поэтому чувствительности микрофона и телефона определяют необходимое усиление по напряжению и выходную мощность усилителя.

Схемы усилителей, применяемых в слуховых очках (кроме костных) и заушных слуховых аппаратах — тождественны. Усилители в карманных моделях обычно имеют более сложные схемы. Самые мощные усилители имеют двухтактный выходной каскад. При этом используются схемы с фазоинвертором и телефоном, имеющим вывод от середины обмотки, а также схемы с входным трансформатором и выходным дросселем, имеющим вывод от середины обмотки (вместо телефона).

Одна из самых простых схем усилителя слухового аппарата фирмы «Intermetall» с электромагнитным микрофоном собрана на трех транзисторах типа *n-p-n*, с общими эмиттерами и прямой, без переходных конденсаторов, связью между ними (рис. 49,*а*). В этом усилителе рабочая точка каскадов устанавливается переменным

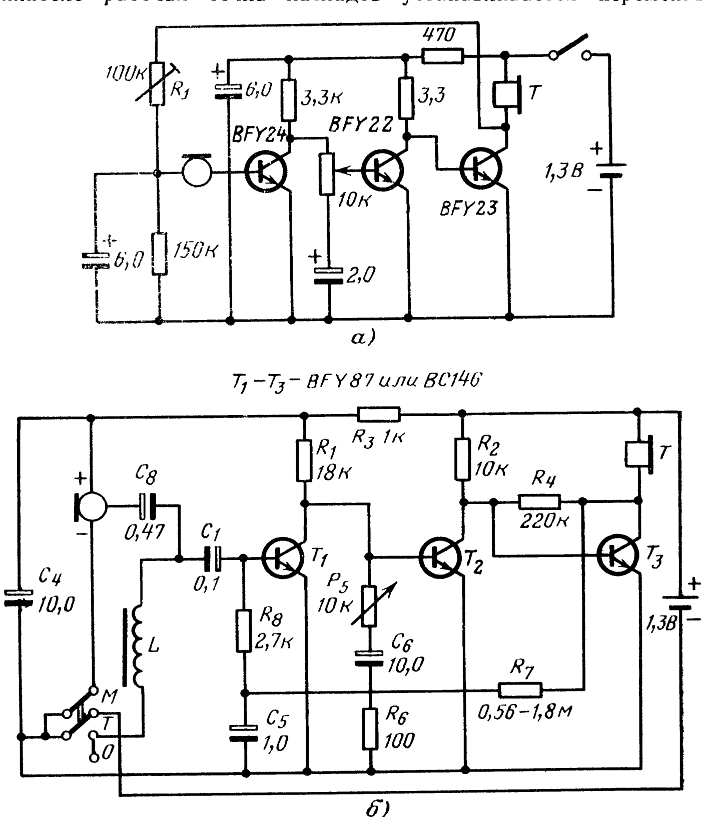


Рис. 49. Схемы усилителей слуховых аппаратов.
а — фирмы «Intermetall»; *б* — заушника модели 565.

резистором R_1, образующим делитель напряжения базы первого каскада и создающим сильную обратную связь по постоянному току с выхода усилителя на его вход. Это стабилизирует усилитель в отношении колебаний напряжения питания и изменений температуры. Подобная схема усилителя применена в заушном слуховом аппарате модели 565 фирмы «Oticon» с пьезокерамическим микрофоном и катушкой для индуктивной связи (рис. 49,*б*), но ток потребления в 3—4 раза меньше (0,5—0,6 мА). Замена телефона однотипным, но имеющим полное сопротивление, равным 4700 Ом на частоте 1 кГц (вместо 1250 Ом), снижает на 5 дБ максималь-

ные усиление и выходной уровень звукового давления. Печатная плата и другие детали этого аппарата показаны на рис. 50.

Простейшая схема усилителя слухового аппарата (рис. 51) с ограничением выходного уровня путем срезания пиков (PC), примененная в «заушнике» с пьезокерамическим микрофоном фирмы

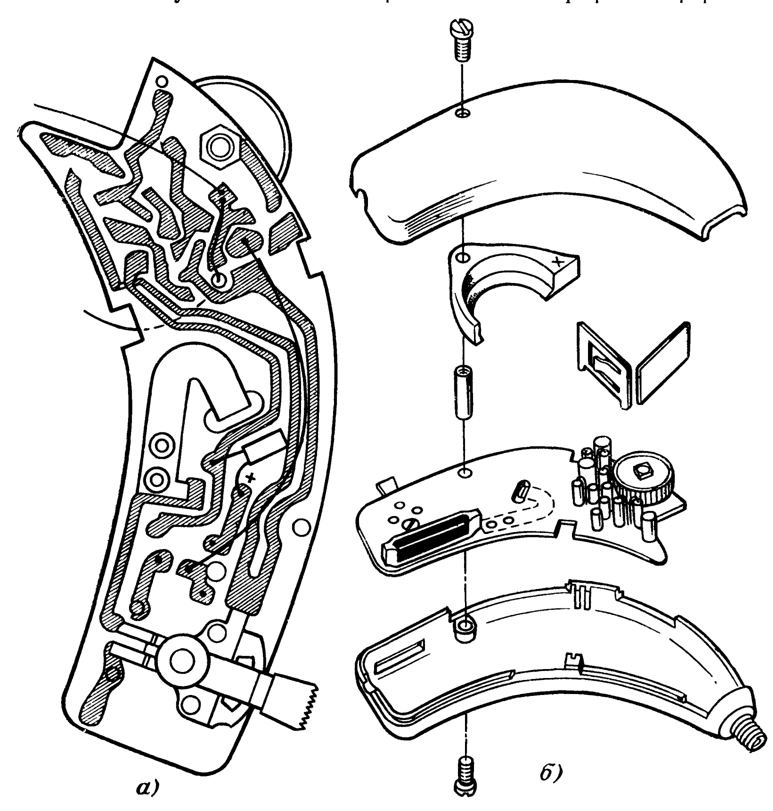


Рис. 50. Слуховой аппарат «заушник».
а — печатная плата; *б* — детали конструкции.

«Oticon», содержит три транзистора (первый типа *n-p-n*, два остальных *p-n-p*). Ограничение уровня осуществляется с помощью резистора R_{10}, включенного последовательно с телефоном в цепь коллектора выходного транзистора. При наличии пиков напряжения в звуковом сигнале на резисторе R_{10} падает большее постоянное напряжение. В результате максимальный выходной уровень звукового давления, создаваемый телефоном, уменьшается на 7 ± 1 дБ. Такая схема срабатывает мгновенно, благодаря чему ограничиваются очень короткие по продолжительности пики без изменения среднего уровня

Схема содержит переключатель, которым замыкается резистор R_{10} и устраняется ограничение выходного уровня. Ток, потребляемый аппаратом, равен 0,45—0,6 мА.

Более значительное ограничение выходного уровня и сжатие динамического диапазона дает схема с автоматической регулировкой усиления (АРУ), примененная в «заушнике» фирмы «Siemens» (ФРГ) модели Auriculina-AVC. В этой схеме (рис. 52) содержится

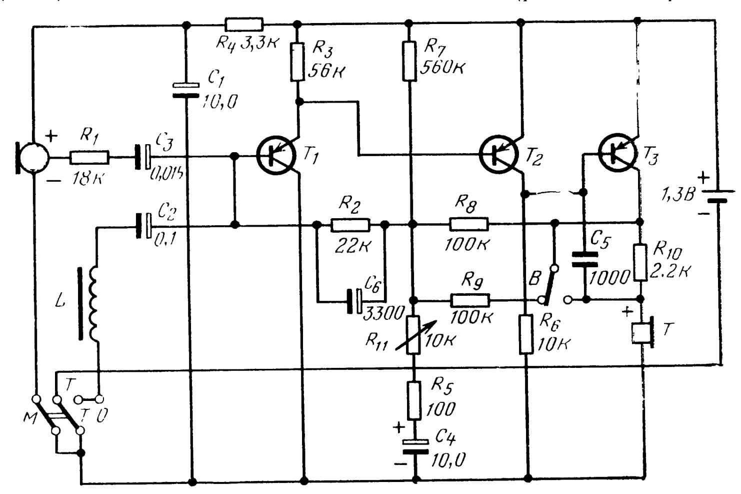


Рис. 51. Простейшая схема ограничителя выходного уровня (РС) слухового аппарата «заушник».

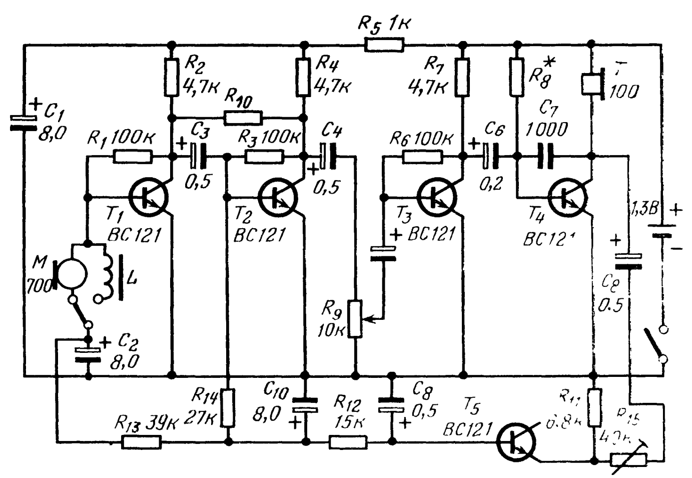


Рис. 52. Схема усилителя слухового аппарата «заушник» с АРУ.

четыре каскада на транзисторах типа *n-p-n* с общим эмиттером; пятый транзистор используется в качестве диода в цепи АРУ. Резисторы R_1, R_3, R_6 и R_{10} создают стабилизирующие обратные связи по постоянному току. Выходное напряжение через конденсатор C_8 подается на делитель, образуемый резисторами R_{11} и R_{15}. Часть напряжения, падающего на резисторе R_{11}, выпрямляется эмиттерным переходом транзистора T_5, фильтруется и используется как управляющее напряжение в цепях базы транзисторов двух первых каскадов. Потребляемый ток составляет 1,6—2 мА. Чтобы следить за всеми изменениями уровня звука, воздействующего на

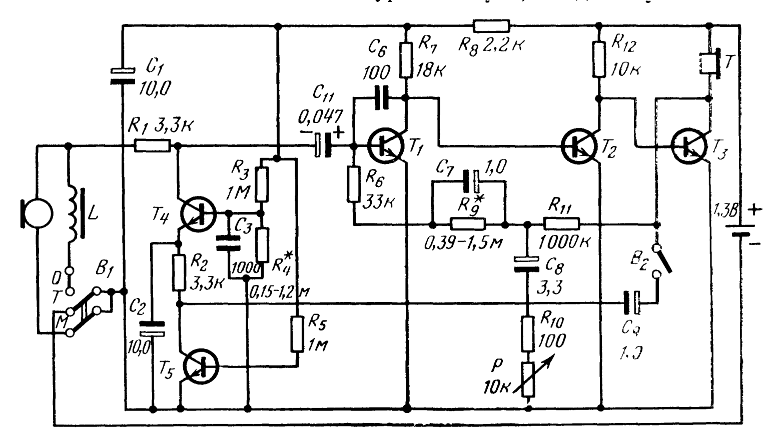


Рис. 53. Схема усилителя слуховое аппарата «заушник» с компрессором (LDC).

микрофон, АРУ должна действовать мгновенно. Однако слишком быстрая реакция АРУ приводит к нелинейным искажениям, поэтому выбирают компромиссные значения времени срабатывания (5—10 мс при возрастании уровня сигнала) и времени восстановления (20—40 мс при снижении уровня сигнала). Ограничение выходного уровня и сжатие динамического диапазона, производимое такой АРУ, составляет 10—12 дБ.

Существует еще один способ уменьшения динамического диапазона и ограничения выходного уровня звукового давления, при котором коэффициент усиления самого усилителя не изменяется, а происходит автоматическая регулировка уровня на входе усилителя. Такой способ регулировки, называемый «линейная динамическая компрессия», реализован в «заушнике» фирмы «Oticon» модели 565LDC. Схема этого аппарата (рис. 53) состоит из трехкаскадного усилителя на транзисторах T_1—T_3, включенных с общими эмиттерами. Связь между каскадами непосредственная, без переходных конденсаторов.

Выходное напряжение усилителя через выключатель B_2 и конденсатор C_9 подается на один из двух дополнительных транзисторов (T_5), который под воздействием выходного напряжения изменяет сопротивление перехода эмиттер — коллектор транзистора T_4. Последний вместе с резистором R_1 образует делитель напряжения

входного сигнала (конденсатор C_2 замыкает последовательно включенные резистор R_2 и регулирующий транзистор T_5). Транзистор T_5 при увеличении уровня выходного сигнала уменьшает сопротивление транзистора T_4 и этим уменьшает уровень сигнала, поступающего на вход каскада на транзисторе T_1. Скорость срабатывания такого регулятора определяется в основном постоянной времени

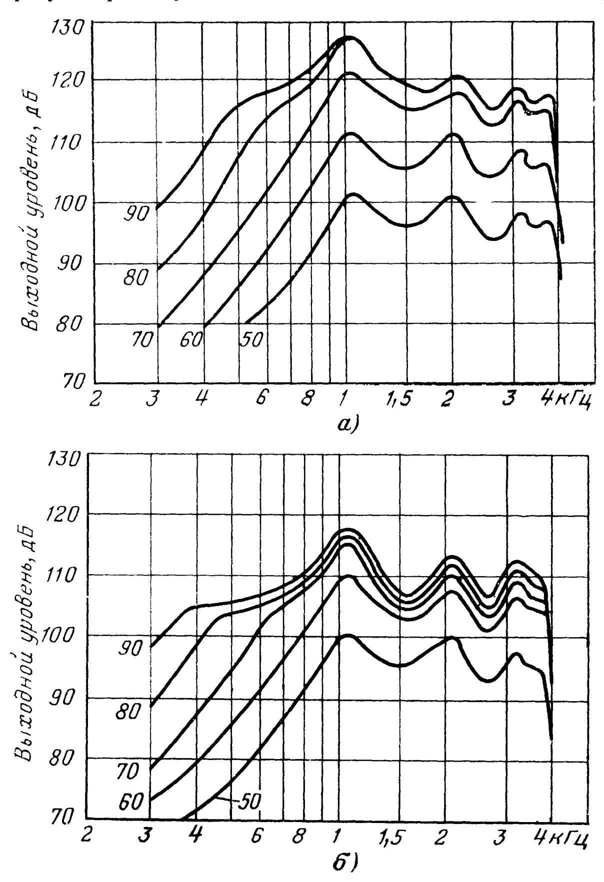


Рис. 54. Частотные характеристики выходного уровня слухового аппарата с компрессией при разных уровнях сигнала на входе.
а — без компрессии; *б* — с компрессией.

цепи C_2R_2 и транзистора T_5. Время срабатывания составляет 5 мс, а время восстановления 40 мс. Внутренний («под шлиц») выключатель B_2 позволяет разорвать связь с выходом входной регулировочной цепи и отключить ограничитель уровня.

Слуховой аппарат с рассмотренной схемой усилителя уменьшает динамический диапазон приблизительно на 10 дБ. На рис. 54

показаны частотные характеристики звукового давления на выходе аппарата 565LDC при различных уровнях звукового давления у микрофона (50—90 дБ; 0 дБ на этих графиках соответствует 20 мкПа). Регулятор громкости установлен на максимум усиления. Эти характеристики показывают, что с уровня входного сигнала

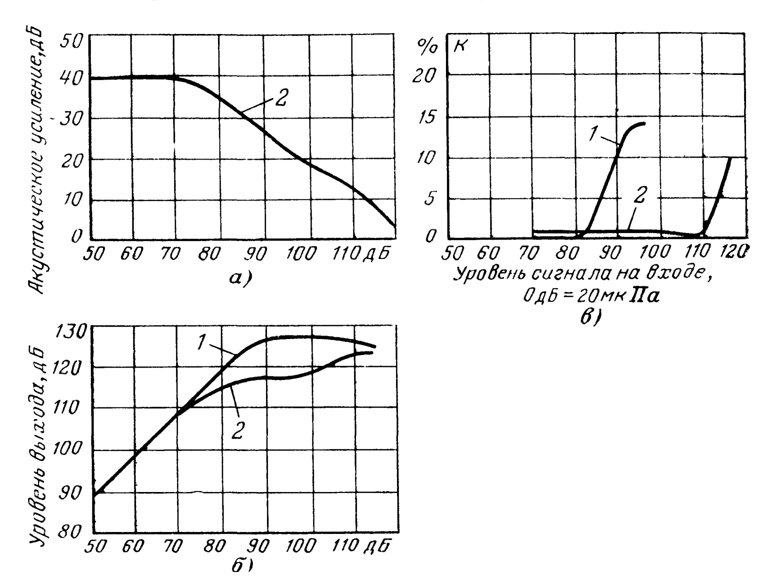


Рис. 55. Влияние уровня входного сигнала на характеристики слухового аппарата «заушник» с компрессором (LDC).

а — акустическое усиление; *б* — выходной уровень; *в* — нелинейные искажения; *1* — без компрессии; *2* — с компрессией.

60 дБ начинается ограничение выходного уровня в полосе частот, в которой выходной уровень аппарата выше 100 дБ (800—3800 Гц).

На рис. 55 показаны графики зависимости акустического усиления при включенном ограничителе, выходного уровня звукового давления, создаваемого аппаратом без ограничения и с ним, и коэффициента нелинейных искажений от уровня звуковоого давления у микрофона слухового аппарата на частоте 1000 Гц. Эти характеристики соответствуют положению регулятора громкости, соответстствующего усилению 40 дБ на частоте 1000 Гц без ограничителя. Ток, потребляемый аппаратом, равен 1,35—1,85 мА при напряжении питания 1,3 В.

В качестве примера наиболее мощного заушного аппарата (с максимальным выходным уровнем звука 125 дБ) приведена схема с пьезокерамическим микрофоном (рис. 56) модели 560PPX фирмы «Oticon». Эта схема содержит семь кремниевых транзисторов типа *n-p-n*: четыре (T_1—T_4) в предварительных каскадах усиления и два (T_5—T_6) в выходном двухтактном каскаде. Противофазные напряжения на выходной каскад поступают с эмиттера и коллектора транзистора предыдущего каскада (T_4), имеющего раз-

дельные нагрузки. Транзистор T_7 служит для обеспечения линейности выходного напряжения двухтактного каскада при понижении напряжения батареи путем изменения смещения на транзисторах

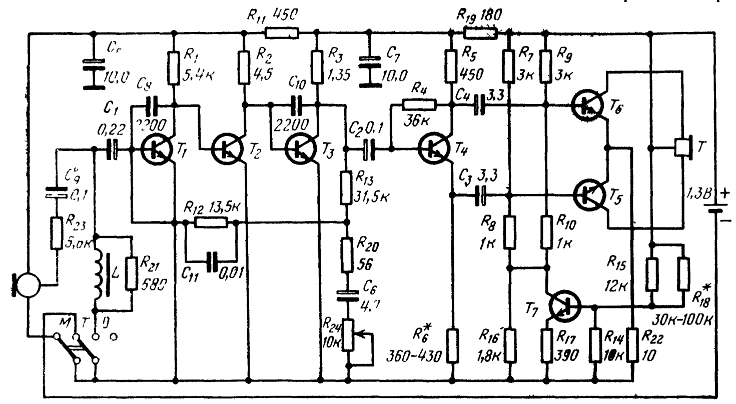


Рис. 56. Схема усилителя с двухтактным выходом слухового аппарата «заушник» модели 560PPX.

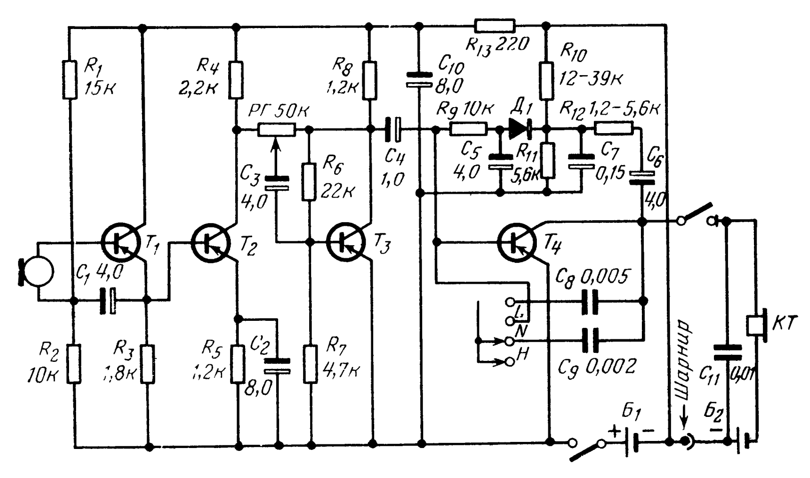


Рис. 57. Схема усилителя слуховых очков для костной проводимости.

T_5 и T_6. Регулятор громкости R_{24} включен в цепь обратной связи по переменному току в коллекторе транзистора T_3. Ток, потребляемый аппаратом, составляет 3,5 мА при напряжении питания 1,3 В.

Рассмотрим схему усилителя слуховых очков для костной проводимости модели RX88 фирмы «Otarion» (США) (рис. 57). Схема содержит четыре каскада на транзисторах типа *n-p-n*; первые три

из них питаются от одного элемента ($Б_1$), выходной каскад для получения максимальной мощности 8 мВт питается от двух элементов ($Б_1$ и $Б_2$). Диод $Д_4$ предназначен для уменьшения тока покоя выходного транзистора T_4, который не должен превышать 1 мА.

Схема содержит переключатель тембра («под шлиц»), который либо отключает конденсаторы обратной связи C_8, C_9 в цепи коллектор — база транзистора T_4 (положение H) и повышает этим усиление на высших частотах, либо включает один из них. Конденсатор C_8, имеющий большую емкость (положение L), снижает усиление на высших частотах; конденсатор C_9 (положение N) обеспечивает равномерную частотную характеристику.

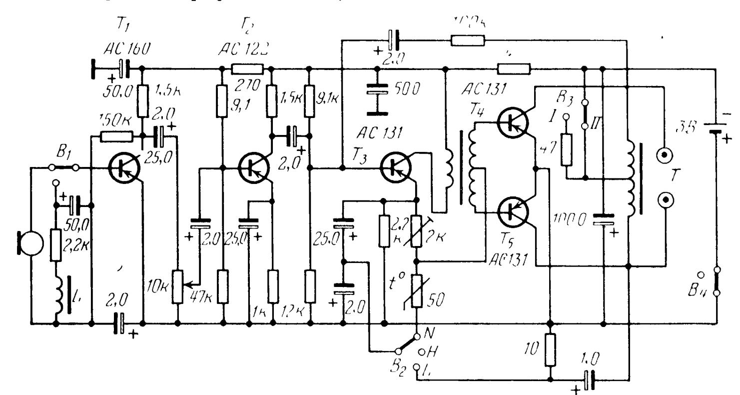
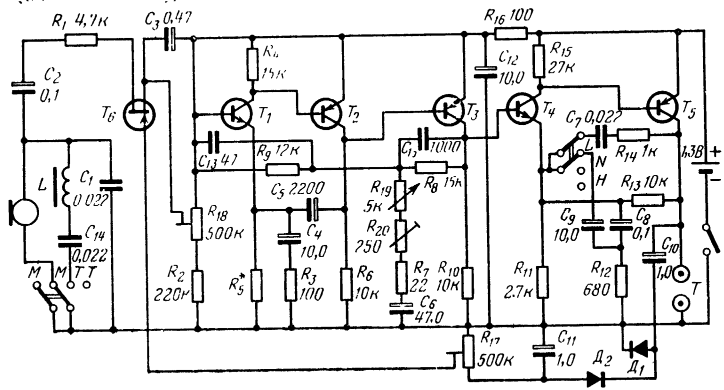


Рис. 58. Схема усилителя карманного слухового аппарата Omniton-14.

Усилитель размещен в одном заушнике, а костный телефон T и элемент $Б_2$ — в другом. Электрическое соединение между ними осуществляется посредством двух проводов, запрессованных в оправу стекол и присоединенных к двум шарнирам и двум дополнительным контактным штифтам на оправе и заушниках.

Одна из простейших схем карманного слухового аппарата с электромагнитным микрофоном, имеющая весьма широкую для слухового аппарата полосу воспроизводимых частот (250—7000 Гц), приведена на рис. 58. Эта схема воплощена фирмой «Bosch Elektronik» (ФРГ) в модели аппарата Omniton-14. Она состоит из трехкаскадного предварительного усилителя и двухтактного выходного каскада. Связь между ними — трансформаторная. Рабочая точка транзисторов третьего и выходного каскадов (T_3—T_5) стабилизируется терморезистором. Для возможности использования в аппарате обычного телефона (без дополнительного вывода от середины обмотки) между коллекторами выходных транзисторов включен дроссель со средней точкой. Резистор сопротивлением 47 Ом, присоединенный к средней точке дросселя, предназначен для ограничения максимального выходного уровня звукового давления (приблизительно на 7 дБ) за счет падения напряжения на нем при громких звуках. Этот резистор может быть отключен выключателем B_3. Дополнительное ограничение выходного уровня (примерно на 10 дБ) достигается использованием более высокоомного телефона. Переключатель B_2 служит регулятором

тембра. В положении *H* вследствие уменьшения емкости, шунтирующей цепь обратной связи в эмиттерной цепи транзистора T_3, за счет включения последовательного конденсатора емкостью 2 мкФ происходит ослабление усиления спектральных составляющих низших частот (на 15 дБ при 400 Гц); в положении *L* в эмиттерную цепь этого же транзистора вводится дополнительная обратная связь, снижающая усиление составляющих высших частот (на 15 дБ на частоте 3000 Гц). Усилитель потребляет ток 5,5 мА при напряжении батареи 3 В (два элемента).



T_1-2N5088 или BC184KBS; T_{2-3} и T_5-MPS6519 или BC213KBS, T_4-MPS6515 или BC183KBS, T_6-U2229E

Рис. 59. Схема усилителя карманного слухового аппарата с компрессором модели 371LDC фирмы «Oticon».

Схема усилителя карманного слухового аппарата с электромагнитным микрофоном и компрессором приведена на рис. 59. Способ сжатия динамического диапазона аналогичен примененному в аппарате «заушник» (см. рис. 53). Он заключается в автоматической регулировке уровня сигнала на входе усилителя с помощью входного делителя напряжения, управляемого с выхода усилителя. Коэффициент усиления самого усилителя при этом не меняется. В схеме рис. 59 верхнее плечо регулируемого делителя образовано сопротивлениями резистора R_1 и канала исток — сток полевого транзистора T_6. Второе (нижнее) плечо делителя образовано сопротивлением перехода база — эмиттер транзистора T_1 и сопротивлением резистора R_5. Сопротивление резистора R_5 на схеме не указано, так как оно подбирается из условия падения на нем постоянного напряжения, равного 110 мВ. Изменение сопротивления канала исток — сток транзистора T_6 производится выпрямленным выходным напряжением усилителя. Выпрямитель собран на диодах $Д_1$ и $Д_2$ и конденсаторах C_{10} и C_{11}. С целью повышения выпрямленного выходного напряжения, подаваемого на транзистор T_6, выпрямитель выполнен по схеме удвоения напряжения. Потенциометром R_{17} величина выпрямленного выходного напряжения может быть изменена, тем самым регулируется степень сжатия динамического диапазона. В верхнем положении ползунка потенциометра R_{17} компрессор отключается. Максимальное сжатие диапазона составляет 14 дБ, что приблизительно на 4 дБ

больше, чем у аппарата «заушник» (рис 53) Характеристики, показывающие действие ограничителя динамического диапазона, сходны с приведенными на рис. 55.

Дополнительное ограничение выходного уровня звукового давления осуществляется подключением одного из трех типов телефонов, отличающихся сопротивлением обмотки При этом уровень может быть ограничен значениями 112, 107 и 101 дБ (без сжатия на 12 дБ соответственно больше). Кроме того, с целью осуществления более точного согласования максимального выходного уровня, создаваемого аппаратом с возможностями слуха, в схему аппарата введен дополнительный регулятор громкости «под шлиц», позволяющий плавно изменять усиление на 20 дБ. С помощью этого регулятора устанавливают предельное усиление в зависимости от уровня прослушиваемых звуков (для речи этот уровень приблизительно равен 65 дБ) и допустимого для слуха максимального уровня звука. Линейное сжатие динамического диапазона принимаемых звуков производится в пределах 20 дБ изменения уровня сигнала на входе.

Ток, потребляемый слуховым аппаратом, составляет 1,7—2,1 мА при напряжении батареи 1,3 В. Конструкция одной из моделей карманного слухового аппарата показана на рис. 60.

В усилителях слуховых аппаратов выпуска последних лет используют кремниевые транзисторы. Это позволяет уменьшить уровень собственного шума аппарата, ток потребления (приблизительно на 13%) и влияние температуры окружающей среды на усиление.

В последних моделях слуховых аппаратов находят применение интегральные схемы (рис. 61). На рис. 61,*а* показана интегральная схема типа ОМ200 фирмы «Valvo» (ФРГ). Эта схема содержит три кремниевых транзистора и два резистора; сделана она на кремниевом основании площадью 0,66 мм^2 и помещена в пластмассовую оболочку размером 2,8×2,8×1,4 мм. На рис. 61,*б* приведена простейшая схема усилителя слухового аппарата с такой интегральной схемой. Резистор R_1 служит регулятором громкости; резистором R_3 («под шлиц») в цепи обратной связи устанавливается номинальное усиление. Резистор R_2 и конденсатор C_2 образуют фильтр, развязывающий по питанию два предварительных каскада от оконечного.

На рис. 61,*в* показана интегральная схема типа μPC11 фирмы «Neumüller» (США), содержащая три транзистора и пять резисторов, а на рис. 61,*г* — схема усилителя слухового аппарата на ее основе. Регулятором громкости здесь служит резистор R_1. Резистором R_2 устанавливают напряжение смещения базы выходного транзистора.

На рис. 62 приведена схема усилителя заушного слухового аппарата фирмы «Philips» (модель KL6710/11), в которой используется интегральная схема ОМ200. Резистор R служит регулятором громкости. Переключатель B_1 в положении *1* отключает аппарат, а в положениях *2* и *3* включает катушку для индуктивной связи с телефонным аппаратом или микрофон Переключатель B_2 служит регулятором тембра; три его положения соответствуют указанным выше типам частотных характеристик H, N, L. Переключатель B_3 уменьшает номинальную выходную мощность аппарата, равную 0,6 мВт, в 2 или 4 раза. Для этого последовательно с телефоном включают один или два резистора (R_2 и R_1). Эта регулировка предназначена для того, чтобы избавить от неприятных ощущений лиц, имеющих низкий болевой порог.

Интегральные схемы применяются не только в миниатюрных аппаратах, носимых в ухе. Они используются и в самом сложном

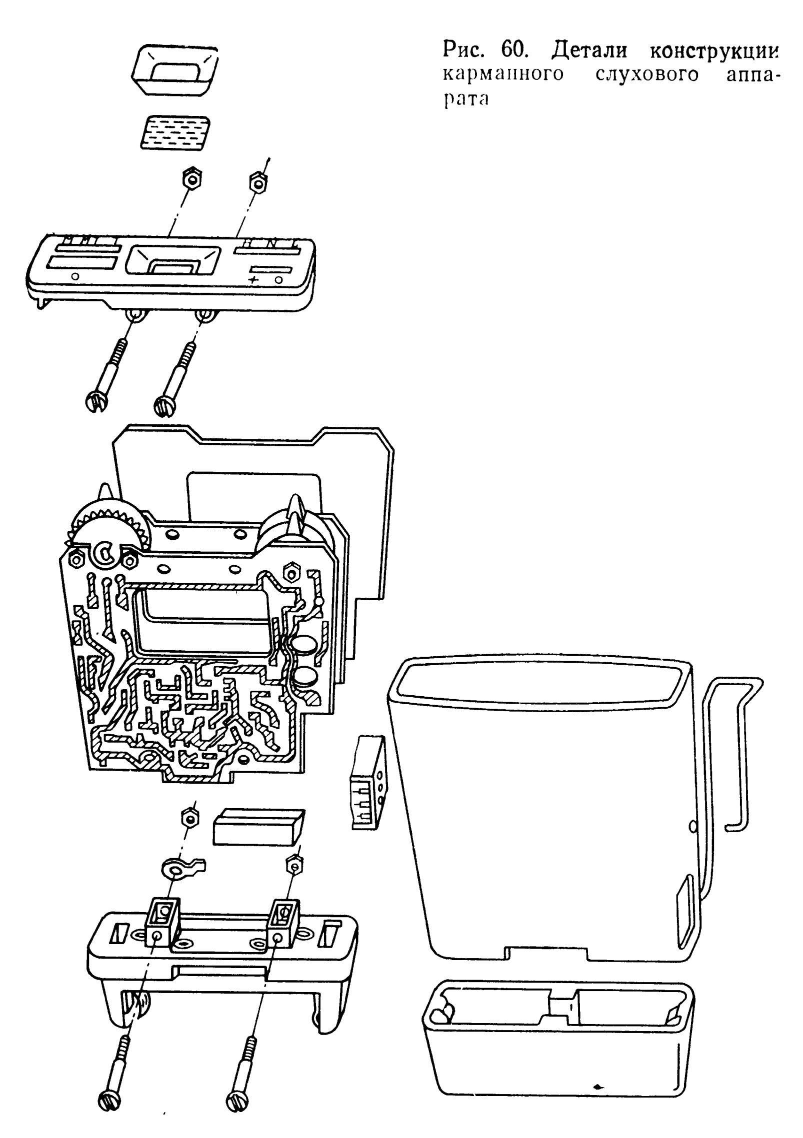


Рис. 60. Детали конструкции карманного слухового аппарата

карманном аппарате с транспонированием частоты. В усилителе заушного слухового аппарата «Powervox» фирмы «Amplivox», максимальный выходной уровень которого составляет 127 дБ, применена восьмитранзисторная монолитная интегральная схема с двухтактным выходным каскадом.

Наряду с интегральными схемами в усилителях слуховых аппаратов применяются готовые тонкопленочные блоки, в которых на

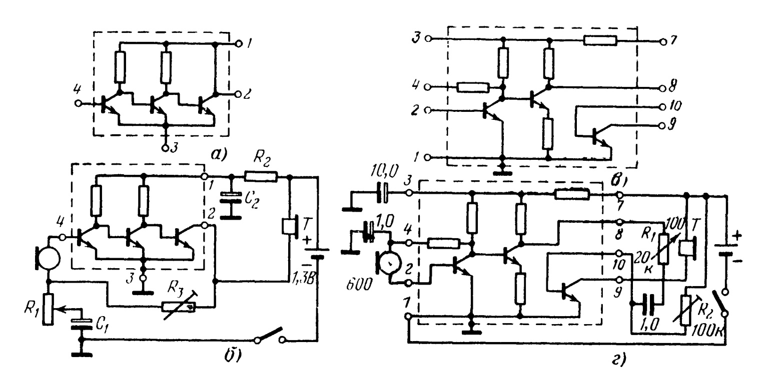


Рис. 61. Интегральные схемы, используемые в слуховых аппаратах, и схемы усилителей на их основе.

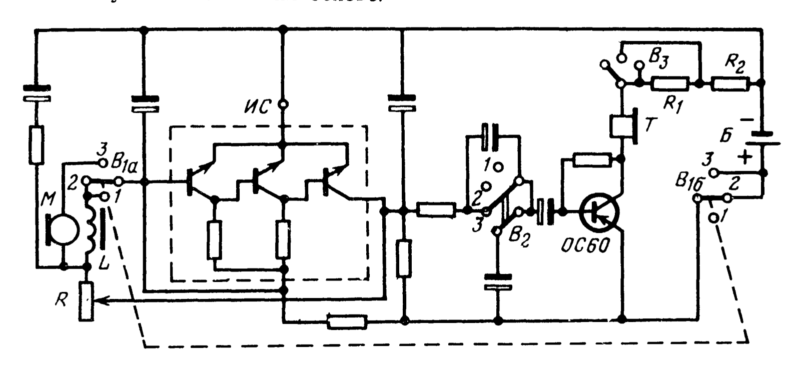


Рис. 62. Схема усилителя заушника модели KL6710/11.

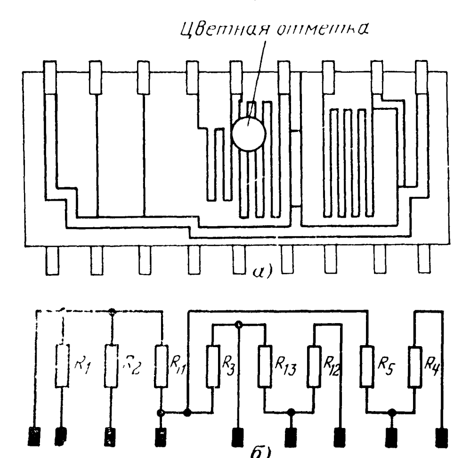


Рис. 63. Тонкопленочный блок резисторов.

а — внешний вид; *б* — схема соединений.

пленке размером 11,5×4,5 мм образовано восемь резисторов. На рис. 63,*а* показан такой тонкопленочный блок резисторов фирмы «Valvo». Он используется в схеме слухового аппарата модели 560PPX (см. рис. 56); для удобства рассмотрения нумерация резисторов в обеих схемах сделана одинаковой. Тонкопленочные блоки резисторов, так же как и интегральные схемы, способствуют дальнейшей миниатюризации слуховых аппаратов и упрощают их производство.

СЛУХОВОЙ АППАРАТ С ТРАНСПОНИРОВАНИЕМ ЧАСТОТЫ ЗВУКОВ

Принцип действия этого слухового аппарата резко отличается от всех остальных. Отличие состоит в том, что аппарат с транспонированием частоты не только усиливает звуки, но и преобразует частотный диапазон звуков высших частот (более 4000 Гц). Такой слуховой аппарат карманного типа выпустила фирма «Oticon» (модель TP72).

Аппарат предназначен для лиц с резкой потерей слуха на частотах выше 700—1000 Гц, практически не слышащих звуков частотой выше 1500 Гц. При потере слуха, составляющей больше 100 дБ на частоте 1200 Гц, резко ухудшается различение звуков и разборчивость речи.

Таблица 1 оценивает в 40—66% важность для разборчивости речи восприятия звуков частотой 2000 Гц и выше. Это обусловлено тем, что в полосе частот 1500—8000 Гц находится спектр согласных звуков и, в частности, фрикативных согласных (буквы *в*, *ф*, *з*, *с*, *ж*, *ш*, *х*, *щ*). Восприятие последних особенно важно для разборчивости речи.

В соответствии с этим в слуховом аппарате с транспонированием частоты производится преобразование звуков высоких частот, входящих в полосу 4000—8000 Гц в низкие звуки с полосой 20—1500 Гц. Полоса частот 4000—8000 Гц выбрана потому, что в ней находятся частотные составляющие фрикативных согласных звуков. Кроме того, ниже частоты 4000 Гц располагаются самые высокие форманты гласных звуков, которые не подлежат транспонированию.

Преобразование частот основано на нелинейном усилении сигналов и отборе более низких (разностных) частот. Нелинейное усиление сопровождается искажением формы первоначальных сигналов, в результате чего образуются суммарные и разностные частоты. Например, если подать на нелинейный усилитель два сигнала, имеющих частоты $f_1=4000$ Гц и $f_2=4500$ Гц, то на выходе нелинейного усилителя, кроме напряжений этих частот, появятся напряжения комбинационных частот, из которых наибольшее значение имеют составляющие разностной ($f_2-f_1=500$ Гц) и суммарной ($f_2+f_1=8500$ Гц) частот.

Таким образом понижается частота дискретных составляющих звуков фрикативных согласных, которые можно представить как некоторое число пар сигналов высоких звуковых частот. Из них после прохождения нелинейного усилителя образуются сигналы разностной (более низкой) частоты. Последние попадают в область частот остаточного слуха плохослышащего и могут быть им восприняты.

Схема слухового аппарата TP72 приведена на рис. 64. Она содержит два канала: верхний (по схеме) является обычным усилите-

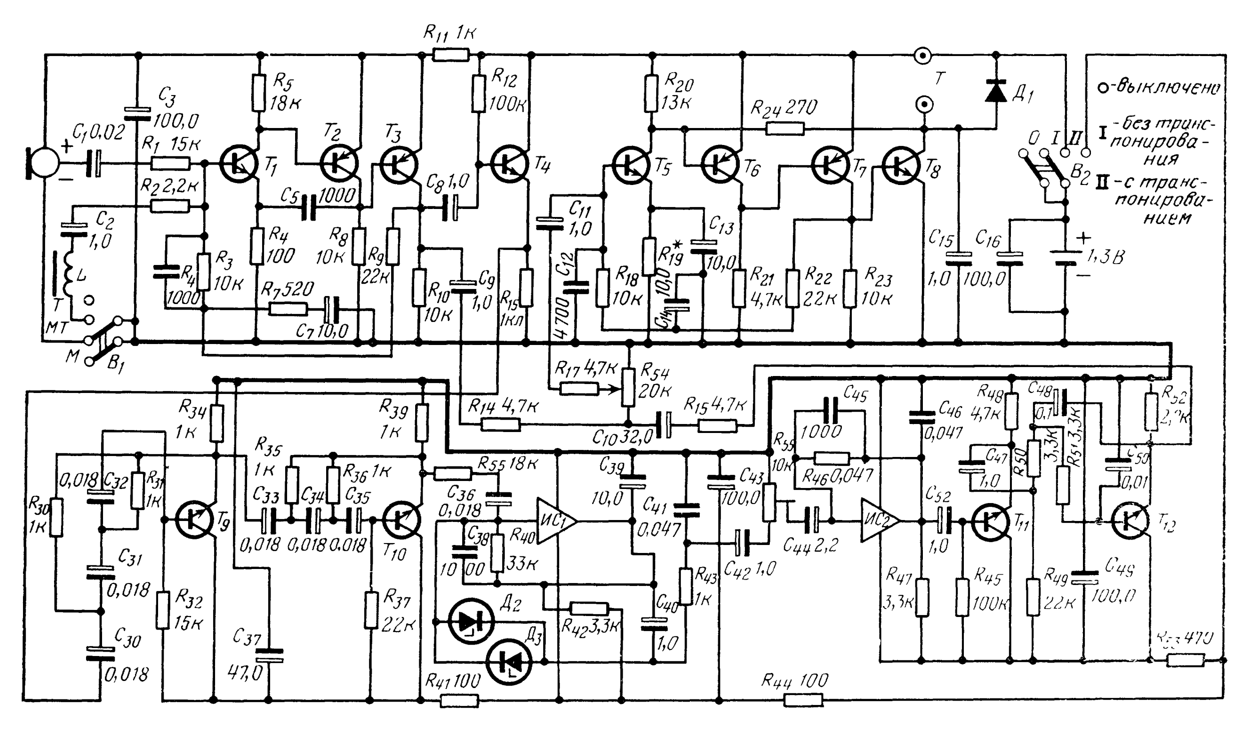


Рис 64 Схема усилителя карманного слухового аппарата с транспонированием частот.

лем слухового аппарата, нижний (по схеме) — транспонирующий. Последний содержит фильтр высоких частот с частотой среза 4000 Гц и большой крутизной характеристики на этой частоте (36 дБ/октава). Он служит для предотвращения прохождения и последующего преобразования высших формант гласных звуков. Отфильтрованное напряжение частот выше 4000 Гц подается на нелинейную ступень усиления, после чего производится дальнейшее усиление и выделение фильтром низких частот напряжений всех разностных частот до 1500 Гц.

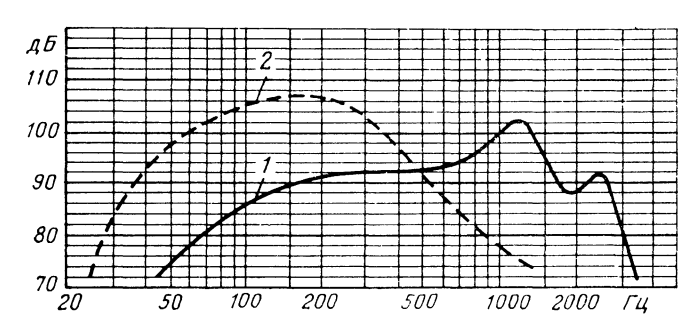


Рис. 65. Частотные характеристики выходного уровня слухового аппарата с транспонированием частот.

1 — без транспонирования; *2* — с транспонированием.

На выходе транспонирующего канала имеется регулятор напряжения, которым устанавливают правильное соотношение между прямым сигналом, усиливаемым обычным образом, и транспонированным сигналом. Этот регулятор в аппарате выведен «под шлиц». Затем следует общий для обоих каналов регулятор громкости, дополнительный усилитель и телефон воздушной проводимости.

Переключатель B_1 служит для включения микрофона или катушки индуктивной связи (или для одновременного включения их обоих). Переключателем B_2 выключают аппарат или включают один из его каналов (усилитель без преобразования частот). Регулятором громкости служит переменный резистор R_1. Диод $Д_2$ предназначен для защиты транзистора T_8 от перенапряжения, которое может быть вследствие того, что воздушный телефон обладает значительным индуктивным сопротивлением. На преобразователь частоты сигнал поступает с транзистора T_4, который, однако, не используется в схеме обычного аппарата, хотя и находится в его канале. Первые два каскада на транзисторах T_9 и T_{10} образуют фильтр высших частот. Интегральная схема $ИС_1$ и опорные диоды $Д_1$ и $Д_2$ входят в нелинейную усилительную ступень; вторая интегральная схема $ИС_2$ является усилителем, на входе которого находится регулятор громкости R_2. Транзисторы T_{11} и T_{12} входят в двухступенчатый фильтр низших частот. Сигнал после этого фильтра подается на регулятор громкости R_4, который является общим для обоих каналов. Все транзисторы в аппарате кремниевые. Каждый из двух каналов монтируется на отдельной печатной плате. Конструкция аппарата аналогична показанной на рис. 60.

Коэффициент нелинейных искажений, создаваемых аппаратом на частоте 500 Гц, составляет 4 или 10% при выходном уровне 120 дБ; меньшее значение коэффициента имеет телефон с меньшим сопротивлением. На рис. 65 показаны частотные характеристики выходного уровня звукового давления слухового аппарата ТР72 без преобразования частот (сплошная линия) при установке регулятором громкости усиления 40 дБ на частоте 1000 Гц и уровне звукового сигнала (на микрофоне) 60 дБ. Пунктиром показана аналогичная характеристика аппарата с преобразованием частоты при подаче на микрофон звукового сигнала в виде шума с шириной полосы 300 Гц

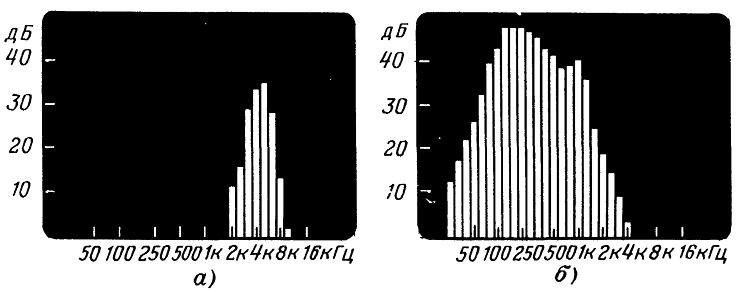


Рис. 66. Спектры звучания фрикативной согласной sh.
а — натуральное звучание; *б* — после транспонирования частот.

и центральной частотой 5000 Гц, уровнем 60 дБ. Характеристика получена анализом с третьоктавной полосой частот звукового давления, создаваемого телефоном аппарата; при этом регулятор громкости R_{55} (рис. 64) находился в положении, установленном заводом-изготовителем. Преобразование сигналов в аппарате ТР72 поясняется спектрами (рис. 66) натурального звучания фрикативной согласной английского sh (сходного по звучанию с русским *ш*) и этого же звука после усиления и преобразования. Следует указать, что для эксплуатации аппарата ТР72 требуется предварительная подготовка (тренировка). Задача подготовки — научить пациента различать между собой транспонированные согласные звуки и воспринимать измененное звучание речи.

Слуховой аппарат с транспонированием частот предназначен только для речевых звуков и не применим для слушания музыки. Однако во многих случаях потери слуха он представляет единственную возможность слышать пение птиц и звуки, издаваемые некоторыми животными. Телефонные звонки и другие высокие звуки также слышимы при транспонировании частот. Помехой аппарату служит окружающий шум, содержащий высокочастотные компоненты, или одновременный разговор двух и более людей.

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ СЛУХОВЫХ АППАРАТОВ

Слуховые аппараты питаются от сухих гальванических элементов или аккумуляторов. Для питания отечественных аппаратов «Кристалл» (АК-2) и АК-5 применяют цилиндрические сухие марганцево-цинковые гальванические элементы. В зарубежных слуховых аппара-

тах применяют цилиндрические и дисковые ртутно-цинковые и дисковые серебряно-окисные элементы.

Аккумуляторы в нашей стране и за рубежом применяются герметизированные кадмиево-никелевые дисковые и цилиндрические. Марганцево-цинковые элементы имеют э. д. с. в начале разряда, равную 1,6 В, а напряжение зависит от разрядного тока. Ртутно-цинковые элементы имеют напряжение 1,3 В, серебряно-окисные 1,5 В. Последние два вида элементов обладают большим постоянством на-

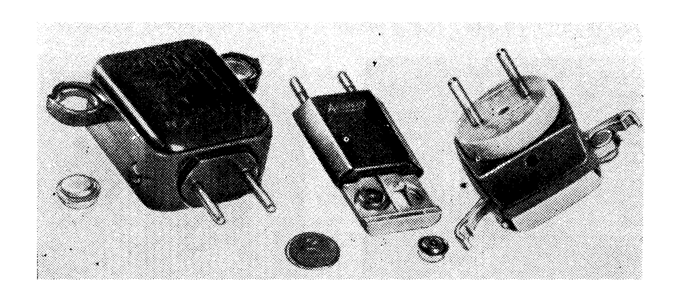


Рис. 67. Зарядные устройства ЗУ-3, № 20 и ОТ-20.

пряжения и примерно в 2 раза большей удельной энергией. Кадмиево-никелевые аккумуляторы имеют напряжение 1,25 В.

Электрическая емкость дисковых элементов и аккумуляторов диаметром 10 и толщиной 5 мм составляет: у ртутно-цинковых элементов 170—200 мА · ч, у серебряно-окисных 165 мА · ч и у кадмиево-никелевых аккумуляторов 20 мА·ч. Это означает, что в слуховом аппарате, потребляющем ток 1,6 мА, указанные элементы будут служить в течение 105—125 ч (ртутно-цинковые), 80 ч (серебряно-окисные) и 12 ч (аккумулятор). При этом следует отметить, что хотя серебряно-окисный элемент и имеет меньший срок службы, но благодаря более высокому напряжению он повышает максимальный выходной уровень звукового давления, создаваемого аппаратом.

Основным достоинством аккумулятора является возможность многократного его использования путем заряда. Аккумуляторы допускают более 100 зарядно-разрядных циклов. Заряд аккумуляторов производится с помощью портативных зарядных устройств; они рассчитаны на зарядку в течение 13—15 ч одного или одновременно двух дисковых аккумуляторов. Ток заряда и разряда допускается равным одной десятой электрической емкости аккумулятора.

На рис. 67 показаны зарядные устройства ЗУ-3 для аккумуляторов Д-0,06 (DK-60), № 20 и ОТ-20 для аккумулятора DK-20, а на рис. 68 — их схемы, а также схема устройства «Phonak».

Схема ЗУ-3 содержит две независимых цепи однополупериодного выпрямления; каждая из них служит для заряда одного аккумулятора. Поскольку аккумулятор должен быть заряжен за 13—15 ч, то при однополупериодном выпрямлении в течение каждого полупериода необходимо пропускать через аккумулятор ток двойной вели-

чины (около 13 мА). Это не соответствует рекомендованному режиму эксплуатации аккумулятора и способствует сокращению срока службы.

Более совершенна схема зарядного устройства «Phonak» для таких же аккумуляторов (рис. 68,*б*). В этой схеме осуществляется двухполупериодное выпрямление и ток заряда равен 7 мА. Кроме балластного резистора сопротивлением 1 кОм используется и конденсатор емкостью 0,2 мФ (для переменного напряжения 250 В); резистор

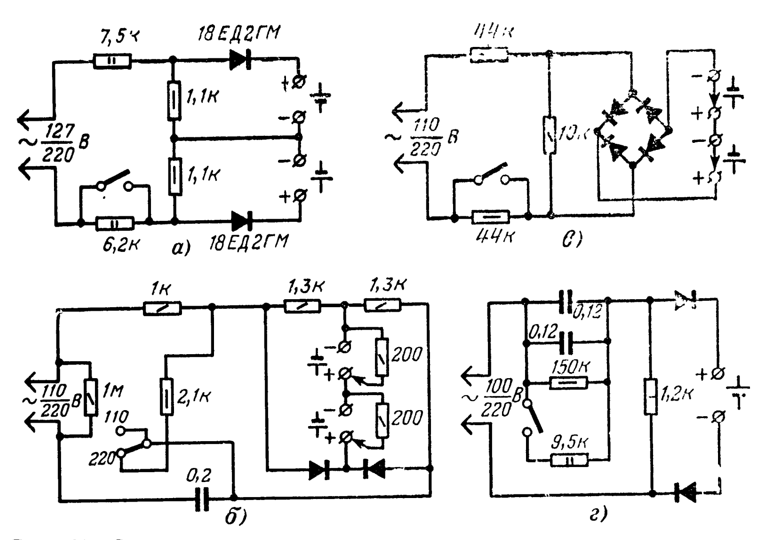


Рис 68. Схемы зарядных устройств.
а — ЗУ-3; *б* — «Phonak»; *в* — ОТ-20; *г* — *L*-150.

сопротивлением 1 МОм предназначен для разряда конденсатора после отключения зарядного устройства от сети. При зарядке только одного аккумулятора второй заменяется резистором сопротивлением 200 Ом, отключающимся при установке аккумулятора (на схеме рис. 68,*б* это показано стрелками).

Когда заряд производится от сети напряжением 220 В, включается шунтирующий резистор сопротивлением 2,1 кОм, увеличивающий падение переменного напряжения на балластных резисторе и конденсаторе.

Схема зарядного устройства ОТ-20 рассчитана на двухполупериодное выпрямление и заряд одного или двух аккумуляторов DK-20 током около 2 мА Аккумуляторы соединены последовательно и в случае заряда только одного аккумулятора, контакты второго остаются замкнутыми, так как размыкаются самим аккумулятором (на схеме рис 68,*в* это показано стрелками).

Использованные марганцево-цинковые и ртутно-цинковые сухие элементы также возможно неоднократно заряжать, точнее восстанавливать, обращая их таким образом на какое-то время в аккумуляторы. Заряд элемента осуществляется пропусканием через него асимметричных импульсов тока обеих полярностей. Для заряда пригоден

элемент, у которого не высох или не вытек электролит, не повреждена металлическая оболочка и э. д. с. элемента не ниже 0,7—0,8 В (см. приложение 3). Заряд использованных сухих элементов позволяет снизить стоимость эксплуатации слухового аппарата.

На рис. 68,*г* приведена схема устройства *L*-150 для заряда одного кадмиево-никелевого аккумулятора (D-150) цилиндрической формы емкостью 150 мА·ч диаметром 12 и высотой 28,5 мм. В этой схеме вместо балластного резистора используется конденсатор емкостью 0,24 мФ, составленный из двух параллельно соединенных конденсаторов емкостью 0,12 мФ каждый (для переменного напряжения 250 В или постоянного напряжения 400 В). Выпрямитель однополупериодный; продолжительность заряда 14 ч. При заряде от осветительной сети напряжением 127 В конденсаторы шунтируют резистором сопротивлением 9500 Ом, уменьшая падение напряжения на конденсаторах. Резистор сопротивлением 150 кОм снимает заряд с конденсатора у отключенного устройства.

ПРОВЕРКА СЛУХОВЫХ АППАРАТОВ

Объективная проверка акустических данных слухового аппарата и его основных элементов осуществляется с помощью комплекта электроакустической измерительной аппаратуры в условиях свободного звукового поля. Последнее обусловлено рекомендациями по проверке слуховых аппаратов Международной электротехнической комиссии в 1958 г.

Расположение большинства слуховых аппаратов во время их использования в непосредственной близости к человеческому телу нарушает условия свободного звукового поля Однако рекомендация измерения характеристик слуховых аппаратов в свободном звуковом поле обеспечивает проведение их всегда в одинаковых акустических условиях в международном масштабе, что делает возможным сопоставлять результаты измерений, т. е. характеристики различных аппаратов. Свободное звуковое поле может быть создано в открытом пространстве или в специальных камерах, поверхности которых покрыты звукопоглощающими клиньями и обладают ничтожным отражением звука. Наиболее трудно этого достичь на низших частотах (ниже 100 Гц). Такие камеры не очень широко распространены, так как имеют высокую стоимость. Благодаря тому что для измерения характеристик слуховых аппаратов используется сравнительно узкий диапазон частот с низшей частотой 150—200 Гц, оказалось возможным проверять слуховые аппараты и микрофоны для них в испытательной камере малых габаритов.

Различают два вида амплитудно-частотных характеристик усилителя слухового аппарата: характеристику в условиях свободного звукового поля и характеристику аппарата по звуковому давлению. В первом случае сравнивают звуковое давление на выходе слухового аппарата с давлением в свободном звуковом поле до внесения в него аппарата (в невозмущенном звуковом поле) в зависимости от частоты. Во втором случае сравнивают звуковое давление на выходе слухового аппарата с давлением у его микрофона также в зависимости от частоты.

Частотная характеристика по звуковому давлению исключает влияние отражения звука от поверхности слухового аппарата, в результате которого звуковое давление у микрофона карманного аппа-

рата может увеличиваться до 10 дБ на частотах выше 1—1,5 кГц. Отражение звука от поверхности аппарата зависит от соотношения между длиной волны звука, падающего на аппарат, и размерами последнего. Поэтому влияние отражения звука при проверке малогабаритных слуховых аппартов (слуховые очки; заушник, носимый в ухе) крайне мало. Для иллюстрации влияния отражения звука от аппарата на рис. 69 приведены частотные характеристики карманного слухового аппарата для условий свободного звукового поля, и по звуковому давлению.

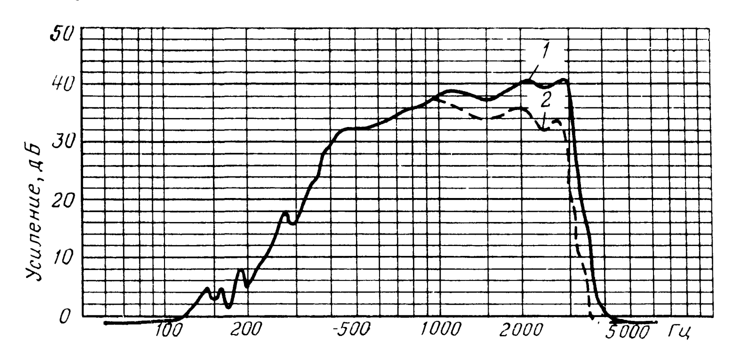


Рис. 69. Частотные характеристики акустического усиления карманного слухового аппарата.

1 — в свободном звуковом поле; 2 — по звуковому давлению.

Конструкция малогабаритной акустической камеры, выпускаемой фирмой «Bruel Kjaer» (Дания), для испытания слуховых аппаратов и микрофонов показана на рис. 70. Камера имеет двойные стенки, промежуток между которыми засыпается песком для увеличения звукоизолирующих свойств. Для изоляции от вибраций и ударов камеру устанавливают на амортизаторах на платформе с резиновыми колесами. Громкоговоритель помещен в нижней части камеры, и звуковые волны, создаваемые им, распространяются в вертикальном направлении. Во внутреннем ящике находится измерительная камера шириной 23, длиной 24 и высотой 23 см, окруженная звукопоглощающим материалом. В ней создаются условия, близкие к условиям свободного звукового поля. Неизменный уровень звукового давления в диапазоне частот 150—5000 Гц поддерживается с помощью регулирующего микрофона, управляющего напряжением на громкоговорителе. В камере может поддерживаться любой уровень звукового давления в пределах от 40 до 90 дБ (относительно $2 \cdot 10^{-5}$ Па).

Звуковое давление на выходе слухового аппарата измеряется прибором «искусственное ухо» (рис. 71). Он состоит из конденсаторного микрофонного капсюля, прилегающего к камере связи, объемом 2 см^3, с другой стороны которой через вставку (заглушку) с каналом соединяется телефон слухового аппарата или звуководная трубка с внутренним телефоном. Камера связи имитирует акустические условия, создаваемые для телефона ухом Микрофонный капсюль вместе с камерой связи установлен на усилительном блоке, представляя с ним одно целое.

Комплект измерительной аппаратуры, используемой вместе с испытательной камерой для записи амплитудно-частотных характеристик слуховых аппаратов, показан на рис. 72. В том случае когда в слуховом аппарате вместо телефона воздушной проводимости применяется костный телефон, «искусственное ухо» заменяется «искусственным мастоидом» (рис. 73).

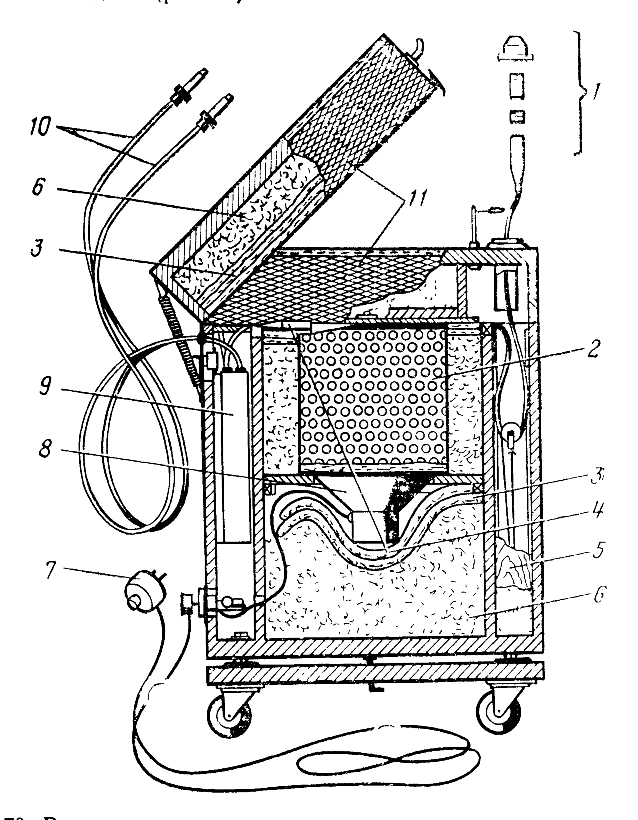


Рис. 70. Разрез камеры для проверки слуховых аппаратов.

1 — детали «искусственного уха»; *2* — ограничивающая сетка; *3* — стекловолокно; *4* — регулирующий (контролирующий) микрофон, *5* — песок; *6* — асбестовое волокно; *7* — аттенюатор громкоговорителя; *8* — громкоговоритель; *9* — фильтры высших частот, *10* — микрофонные кабели; *11* — перфорированное защитное покрытие.

Прибор «искусственный мастоид» представляет собой инерциальную массу 3,5 кг, на которой установлены два пьезокерамических диска, служащих приемником и преобразователем колебаний в электрическое напряжение, пропорциональное их ускорению. Эти диски связаны с куполообразной головкой, наружная поверхность которой покрыта полосками специальных сортов резины. В результате механическое сопротивление «искусственного мастоида» в диапазоне частот от 50 до 8000 Гц приближается к механическому

сопротивлению человеческого мастоида. Оно зависит от статической нагрузки, т. е. силы, прижимающей костный телефон к мастоиду. В «искусственном мастоиде» телефон может прижиматься к куполообразной головке с силой от 2 до 8 Н. Испытательная камера с «искусственным мастоидом» позволяет определить колебательные ускорения или силу, создаваемые слуховым аппаратом с костным телефоном в зависимости от частоты сигнала и уровня звукового давления у микрофона слухового аппарата.

Кроме амплитудно-частотной характеристики слухового аппарата и пределов ее изменения регулятором тембра в испытательной камере измеряют максимальный выходной уро-

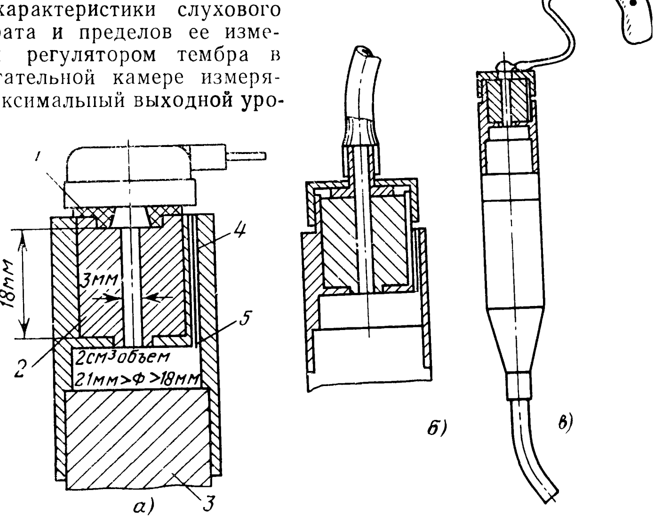


Рис. 71. Разрез прибора «искусственное ухо».

а — с наружным телефоном [*1* — резиновое уплотнение; *2* — вкладыш (вставка); *3* — капсюль конденсаторного микрофона; *4* — капиллярная трубка для выравнивания статического давления диаметром 0,6 мм; *5* — проволока для уменьшения отверстия (сечения) трубки диаметром 0,5 мм]; *б* — со звуководной трубкой; *в* — со слуховыми очками.

вень звукового давления или колебательного ускорения (в случае костного телефона) на разных частотах при заранее обусловленном максимальном коэффициенте нелинейных искажений. На отдельных частотах измеряют также зависимость коэффициента нелинейных искажений от выходного уровня звукового давления или колебательного ускорения

Проверка эффективности слухового аппарата для плохослышащего определяется по степени разборчивости (артикуляции) речи и тому максимальному расстоянию, с которого может быть воспринята и понята речь. Обе эти характеристики зависят не только от аппарата и состояния слуха больного, но и от акустики помещения, в котором производится испытание аппарата, и даже от дикции испытующего. Поэтому такая субъективная проверка хотя и не дает абсолютной оценки качества аппарата, тем не менее является очень важной. Такой проверке должно предшествовать аудиометрическое исследование слуха плохослышащего, которое позволит установить, какое ухо

надо снабдить аппаратом и выбрать наиболее подходящие типы аппаратов для опробывания.

Так как потеря слуха до 20 дБ почти не ощущается, слуховые аппараты чаще всего применяются при потере слуха на средних частотах не меньше, чем 40—45 дБ. Это соответствует состояниям

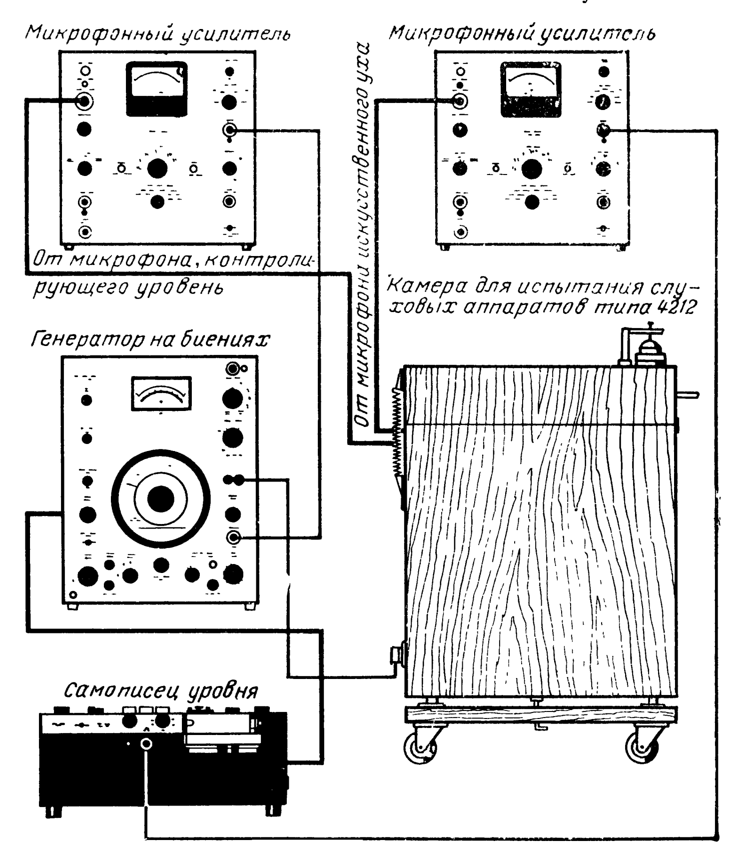


Рис. 72. Комплект аппаратуры для записи амплитудно-частотных характеристик слуховых аппаратов.

слуха, когда разговорная речь без аппарата воспринимается не дальше, чем с 1,5—2,5 м. Предел потери слуха, при котором может употребляться слуховой аппарат, не превышает 90 дБ. При такой потере слуха может быть воспринят только крик около ушной раковины.

В случае неодинаковой потери слуха на оба уха стараются снабдить слуховым аппаратом хуже слышащее ухо, так как при этом общее улучшение слуха будет более эффективным. Использование двух воздушных телефонов в одном аппарате имеет смысл только в случае очень большого понижения слуха; стереофонический эффект

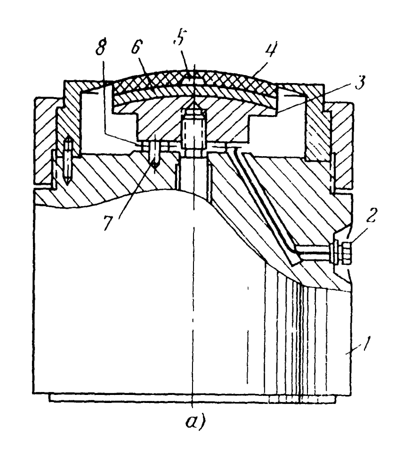
при этом не сохраняется. Однако использование двух слуховых аппаратов, например слуховых очков, на оба уха хотя и не восстанавливает стереофонического эффекта, но может оказаться полезным при необходимости восприятия звуков с обеих сторон.

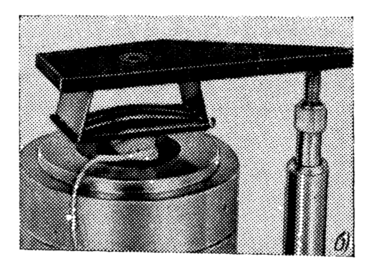
В абсолютном большинстве случаев понижения слуха хорошие результаты получаются при использовании слуховых аппаратов с телефоном воздушной проводимости.

При заболеваниях уха, мало поражающих костную проводимость (например, при отосклерозе), возможно применение слуховых аппаратов с телефонами костной проводимости. Такие телефоны рекомендуется также использовать при наличии выделений из уха. Использование телефонов костной проводимости дает лучшие результаты, если аудиограмма показывает, что потеря слуха по костной проводимости на средних частотах менее половины потери слуха по воздушной.

Перед испытанием слухового аппарата на плохослышащем следует произвести упрощенную проверку исправности аппарата, которая может быть осуществлена прослушиванием через него собственного голоса и проверкой самовозбуждения слухового аппарата путем приближения его телефона или звуководной трубочки с ушным вкладышем к микрофону. Если при этом усиление недостаточно или появляются искажения, то следует проверить годность аккумулятора или сухого элемента.

Оценка разборчивости речи и расстояния, на котором плохослышащий с аппаратом воспринимает речь, производится сначала в процессе разговора с ним или чтения ему какого-либо текста. Более стро-





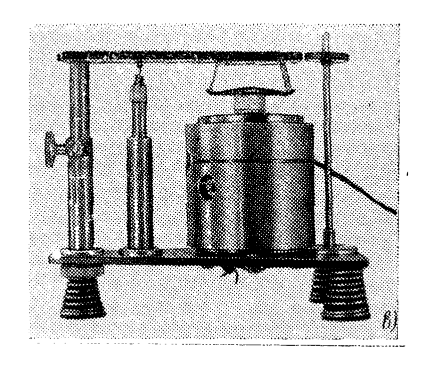


Рис. 73. Прибор «искусственный мастоид».

а — в разрезе (*1* — инерциальная масса; *2* — выход; *3* — куполообразное основание; *4* — бутиловая резина; *5* — нагрузочная масса; *6* — кремнийорганическая резина; *7* — центрирующие штифты; *8* — пьезокерамические диски); *б* — с костным телефоном; *в* — общий вид.

гая и точная проверка разборчивости производится с помощью специальных артикуляционных таблиц, которые состоят из отдельных не связанных между собой слов или из слогов. Каждая такая таблица содержит 50 слов или слогов, которые прочитываются проверяющим с хорошей дикцией. Расстояние между плохослышащим и диктором устанавливают таким, при котором желают определить разборчивость. Предварительно в слуховом аппарате должно быть установлено усиление, обеспечивающее приемлемую для слушающего громкость.

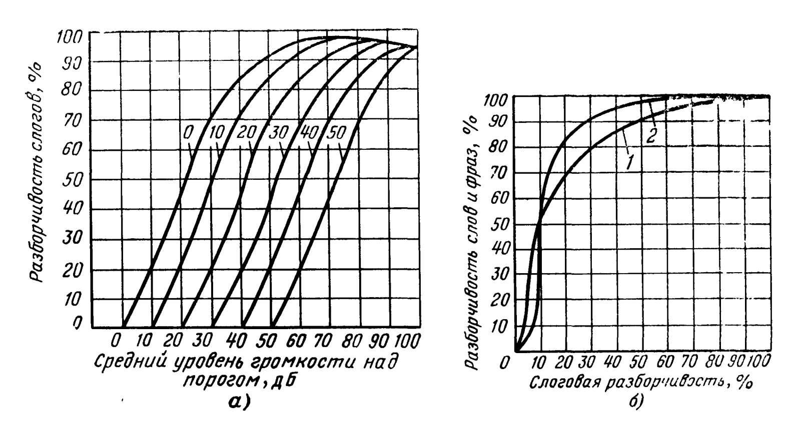


Рис. 74. Кривые, характеризующие разборчивость.

а — слогов от уровня громкости речи над порогом слышимости в зависимости от потери слуха (цифры у кривых); *б* — слов (*1*) и фраз (*2*) от слоговой разборчивости.

На рис. 74,*а* показана зависимость слоговой разборчивости от уровня громкости речи. Оптимальное положение регулятора тона, если он имеется в аппарате, можно определить после проверки разборчивости. Произносимые проверяющим слова или слоги записываются слушающим с аппаратом, после чего устанавливается процент правильно принятых слов или слогов. Это и будет словесным или слоговым процентом разборчивости. Определение процента понятых слов или слогов очень просто: каждая таблица содержит 50 слов или слогов, поэтому правильно понятое слово или слог дают 2%. После проверки подсчитывают общее число правильно принятых слов и увеличивают это число вдвое. По результату проверки с помощью кривых на рис. 74,*б* определяют понятность слова и фраз. Следует отметить, что проверка отдельными слогами не дает реальной оценки способности больного разбирать речь, так как в жизни обычно приходится слышать осмысленные слова и фразы.

Однако, она исключает влияние общего развития проверяемого на результат проверки. Дело в том, что чем выше общее развитие человека, тем больше знакомых ему слов может содержаться в артикуляционной таблице. Поэтому проверяемый может показать более высокую разборчивость.

Проверка фразами менее точная, так как помимо влияния на результат проверки общего развития проверяемого может сказаться

Артикуляционные таблицы слов

1

требовать	комендант	краситель	техникум	ломать
рядом	издалека	кидать	мед	перевязка
флот	вскоре	вспоминать	успокаивать	явный
скандальный	косметика	близко	гость	естественный
сталь	липа	убраться	количество	облить
шатун	поэма	интерес	машиностроительный	голос
сырой	до свидания	девиз	зубр	язык
танковый	старший	подземный	злословить	отстроиться
ученический	битый	мыть	национальный	вычислитель
возникнуть	норматив	пятьсот	трибуна	политический

2

лодочка	японец	теплота	генерал	черника
внешний	восстановление	лихо	село	залить
позиция	два	извиваться	жалоба	архитектурный
столб	отказ	переучесть	играть	пушистый
почта	поистине	неужели	обжечь	культура
теоретический	залиться	пиво	исправлять	выразитель
брошенный	змея	засушливый	век	вы
богатырский	снова	впрочем	травка	курок
обидный	марганцевый	писк	курение	прохлада
волк	запамятовать	навзничь	арбуз	чистовой

3

преобразователь	приладить	ветер	вглядываться	пористый
лед	величина	всюду	штаб	охота
кольцо	доходчиво	вслух	легкий	дрозд
высоко	итак	соскучиться	просить	порука
сделать	боевой	тоже	похолка	пена

Продолжение

одновременный	гулко	футболист	бальзамировать	всероссийский
цветок	костлявый	безопасно	налить	загадка
производство	отъезд	пай	люди	курица
слог	неблаговидный	наскоро	язычник	уверенность
ворошить	забираться	буксир	чертежник	огонь

4

сверстник	шум	воля	воск	космополитический
спать	холостой	высматривать	дверь	беда
платить	футбольный	любимица	оттуда	вездеход
курносый	также	вар	зарисовать	кондуктор
пять	брошюра	откровенно	заговорщик	испытывать
доказывать	палочка	кусок	напасть	блокировать
кубрик	барство	философ	прытко	яростный
живой	своевременно	фикция	силос	оградить
ленинградский	лодка	художественный	мученье	город
гроза	трогательный	лесник	журналист	исполнитель

5

производственный	вольница	лазарет	опасный	счастье
гранки	молодой	проезд	угарный	поспеть
послужить	отработать	закавказский	выбрить	студенчество
нос	раздетый	звенеть	ввязываться	кучер
мало	буйный	жук	ряженый	рассказывать
рубить	приказывать	непобедимый	чердак	согласный
настойчивость	музейный	любовь	переписать	тот
первый	напрокат	платье	куриный	замашка
фрамуга	начало	реакционный	нужда	шмель
дух	безуспешно	коза	лоб	барабанщик

Артикуляционные таблицы слогов (ГОСТ 7153-61)

1

	жь		б	е	б		в в		
РОН	НЯШ	ЦЫЙ	РЕПЬ	ШОХ	ГИПЬ	СЕЙ	ФСОФ	ТАС	ЛЕР
в з	ю	с ч а	з	в				в	з
ФСЕС	ЧУМЬ	ЩАЛ	КРЫС	ВЯФ	ФАЙ	РИР	САМЬ	РУФЬ	ДАС
		б	ь				ь		д
ЮЦ	ПЕЛ	ТРЯПЬ	ТЕЩ	МЫЛ	ЗАХ	НОСТЬ	ДЕЧ	ТАЦ	ПРИТ
ь		ь	з	б	з			в	
ЛОЧ	ДЫСТ	ПУЧ	ХАС	НИП	ШТИСЬ	ТУМ	БЯЙ	НЫФ	МЯМ
	ь	ыг		з	д				в
КУЙ	ЗИЧ	ЖИК	ГОМ	ПРАС	БОТЬ	ШАРЬ	НУНЬ	ДЛИН	ВАФЬ

2

в	ь	э					з		
ЗУФЬ	СТЫЧ	ЖЕН	ЕР	НЯРЬ	ЗНУН	ГАНЬ	КОС	СЫМ	ЛОЦ
		в		ч д	б		ы ь	ь	сч д
БЮН	ХОЛЬ	ДЯФ	НЕНЬ	ШТОТЬ	ЛЮПЬ	ПРОЦ	ШИЧ	ПЯЩ	ЩЕТЬ
ь	г	д	д		з	в		г	д
ЦУЧ	КИК	МОТЬ	ДРЕТЬ	РЮХ	ЧЕСЬ	МИФЬ	ТРАР	ЗЯК	НОТЬ
г	ь	ед	г				з	д	с б
ПЛЫК	ФУЧ	ЧТЭТ	ВАК	ЛЕН	ТУХ	ВУР	ЗОС	ХЕТ	ЗДАП
в	д			ь	з				
СЁФ	КАТЬ	ДОР	ПОН	ТЯЧ	СУСЬ	БАН	ВЁНЬ	ТИСТЬ	РУЛ

Продолжение

3

г	ь		з	г		в	б		з
РЁК	НИШ	ЗНОМ	РЫС	ГЕК	ТАНЬ	ВУФ	ТРЕП	МЁХ	ПАСЬ
		х	д	з	в		в		
ЗЫРЬ	ЧТУЙ	БЫС	ТЕТ	СКЕС	МОФЬ	ЛЯМ	ГОФ	СЯХ	РОЦ
г	з			с	д				ы
ФОК	ШУСЬ	ХУЛ	ШТАЙ	МИЗ	ДВАТ	ТРЮЛЬ	НУЦ	РЕЛЬ	ШИЙ
			г		счю	в	жъ		
ДАМЬ	ПЮМ	КАЦ	БЁК	ЧИНЬ	ЩУРЬ	ЛУФ	ФИШ	СУЗНЬ	ПРЕНЬ
						з	з		
СТАР	БАНЬ	ВЮР	НАХ	БЕМ	САХ	ДЕСЬ	ЖУС	ЦОЙ	ЛОРЬ

4

в	г		з		д	в	з	б	з
БЮФ	ТРОК	ГОЦ	ЧТАС	КАР	НЮТЬ	ЧИФ	ЕС	ТРЕПЬ	РИСЬ
ь	л	б		з	г	ь	д	б	эд
НОШ	БУТЬ	ХУП	ФЫР	СИСЬ	ТЫК	ДАШ	ДЮТЬ	БАФ	ЦЭТЬ

Продолжение

	ежь			ы	в	з	ь		
ВИЙ	ШЕШ	ЗНАР	ТЯЛ	ШИНЬ	РУФЬ	БЕС	ПРИЧ	РОН	ПАЦ
д	з	г				г	з		ч з
СТОТЬ	ЛИС	СЭК	ДВИЙ	МАМ	ЧУР	ЛЫК	ЖАСЬ	СЫРЬ	ШТОСЬ
	з		з		ь			ь	
ФЕРЬ	ШИСЬ	МЯНЬ	ЗУСЬ	РИЙ	ВАЧ	СКИР	ЧУПЬ	ПЯЧ	ТЁСТЬ

5

				б	в	д		г	
НОЛ	КЕХ	БАМЬ	НИМ	ЧТУП	ТОФЬ	НИТ	ФОЛЬ	ДЁК	ШТАМ
б	г	б	в						з
ЧИП	ПЛАК	ХЕП	СОФЬ	ЛЁР	ЗОХ	ДАЛ	САСТ	РЯХ	МЕСЬ
			жь			ёд	ь	д	в
ЛОНЬ	ЦОМ	ЗИЛЬ	ТРУШ	ЗОЙ	ПРЫЛЬ	ЖОТЬ	МЫЧ	КАТ	ПОФЬ
г	в				жь	с з			ь
ДРАК	ХАФЬ	СТАМ	РЫЦ	СЁМ	ТЕШ	ЗДОС	БЯЦ	ЗНУХ	ВУЩ
з	з		жь			в	с ч б		
ПЕСЬ	ЮС	ГОНЬ	ВЕШ	ШУНЬ	САР	ВЫФЬ	ШИПЬ	НЯН	ЛЯЛЬ

влияние ассоциативного восприятия некоторых слов (по связи представлений), которые проверяемый в отдельности не разбирает, а в полной фразе понимает их по ее смыслу.

Проверку разборчивости словами следует проводить лишь в случаях очень низкой разборчивости Выше приводятся артикуляционные таблицы слов и слогов для русского языка. Пользуясь последними, следует учитывать, что запись слушающим слогов с заменой отдельных букв, указанных в таблице, не должна считаться ошибкой.

Оценивая эффективность слухового аппарата, надо иметь в виду, что для удовлетворительного восприятия речи минимальная разборчивость фраз должна быть около 70%, слов — 80% и слогов — 30%. Повышение разборчивости речи, обусловленное ограничением (компрессией) выходного уровня на 6—10 дБ у плохослышащих, страдающих феноменом ФУНГ, составляет 10,6%. Отметим также любопытную особенность влияния слухового аппарата на остроту слуха: акустическое усиление аппарата приблизительно на 10 дБ больше, чем улучшение порогов слышимости. Например, слуховой аппарат с усилением по звуковому давлению 31—32 дБ дает улучшение порогов слышимости только на 20—21 дБ.

В результате пользования слуховыми аппаратами учащимися с пониженным слухом и страдающими нарушением речи произношение речи улучшается. На успехи в обучении пользование слуховым аппаратом оказывает мало влияния.

Как показали многочисленные наблюдения, в результате пользования слуховым аппаратом слух несколько улучшается; это указывает на стимулирующую роль аппарата в развитии остатков слуха.

При подборе слухового аппарата следует учесть, что, если при первом его опробывании разборчивость речи не улучшается, позже она существенно не улучшится за счет привыкания к аппарату. Поэтому не следует приобретать слуховой аппарат, который не дает заметного улучшения разборчивости речи или не позволяет увеличить расстояние до говорящего при сохранении удовлетворительной разборчивости. Слуховой аппарат всегда следует подбирать на хуже слышащее ухо.

Приложение 1

ИНДУКТИВНАЯ СВЯЗЬ СЛУХОВОГО АППАРАТА С РАДИОЭЛЕКТРОННЫМ ИСТОЧНИКОМ ЗВУКОВОГО СИГНАЛА

Индуктивная связь слухового аппарата с источником звукового сигнала, например с телевизором, обеспечивает резкое уменьшение амплитудно-частотных и нелинейных искажений сигнала и акустической шумовой помехи по сравнению с прослушиванием через микрофон слухового аппарата. Происходит это вследствие того, что при индуктивной связи исключаются амплитудно-частотные искажения сигналов, создаваемые громкоговорителем, помещением, в котором он звучит, и микрофоном слухового аппарата. Нелинейные искажения уменьшаются благодаря устранению резонансных пиков в сигнале, при которых может происходить перегрузка слухового аппарата. Акустическая шумовая помеха, возникающая в помещении, исключается совсем при индуктивной связи.

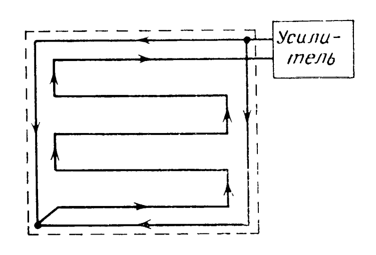


Рис. 75. Петля индуктивной связи.

Для осуществления индуктивной связи со слуховым аппаратом в помещении должно быть создано электромагнитное поле звуковой частоты. Такое поле в комнате площадью 20—30 м² может быть создано шестью витками медного провода диаметром 1—1,25 мм, проложенными по периметру комнаты и включенными последовательно с низкоомным громкоговорителем или в гнезда дополнительного низкоомного громкоговорителя телевизора, или другого радиоэлектронного устройства. Если связь должна осуществляться только в части комнаты, например вблизи радиоприемника, то достаточно иметь катушку квадратного сечения размерами 20×20 см, содержащую 100 витков медного провода диаметром 0,6 мм. Следует иметь в виду, что подъем на 15 дБ составляющих низших частот около частоты 150 Гц в усилителе, питающем проволочную петлю, улучшает натуральность передачи звука. Если проволока прокладывается в двух соседних помещениях, то возможны взаимные помехи. Это может иметь место, например, в классах школы для плохослышащих. В подобных случаях проволочную петлю делают более сложной формы с тем, чтобы электромагнитное поле быстрее убывало за пределами помещения. Расположение подобной петли показано на рис. 75. Ее особенность состоит в том, что часть петли, проходящая вблизи границы помещения, разбивается на две половины, соединяемые параллельно; в результате этого по каждой из них протекает вдвое меньший ток, чем по остальной части петли. Дополнительно электромагнитное поле вблизи границы помещения ослабляется полем параллельно идущих проводов с обратным направлением тока.

Приложение 2

ПОДКЛЮЧЕНИЕ ТЕЛЕФОНА (НАУШНИКА) К РАДИОЭЛЕКТРОННОМУ ИСТОЧНИКУ ЗВУКОВОГО СИГНАЛА

Простейшим средством, позволяющим плохослышащим слушать телепередачу с минимумом искажений, является телефон (наушник), присоединенный к телевизору. Наушник избавляет от необходимости повышать громкость звука, устанавливаемую для телезрителей с хорошим слухом

Большинство телевизоров, выпускаемых в последние годы, имеют гнезда для подключения телефона; они включены параллельно низко-

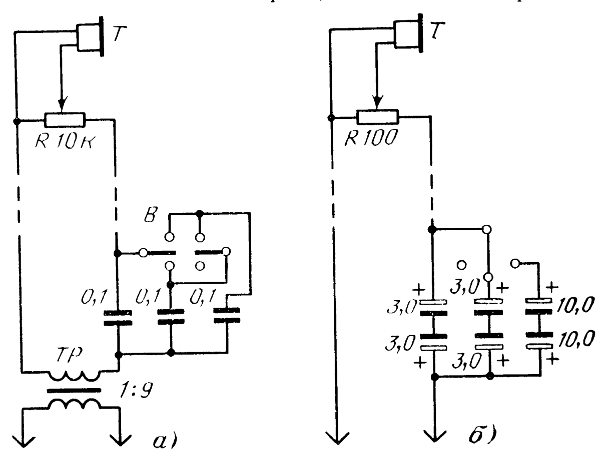


Рис 76 Схемы подключения наушника к телевизору.
а — высокоомного, *б* — низкоомного

омному громкоговорителю телевизора В продаже имеются двойные высокоомные телефоны с сопротивлением обмотки 3600 Ом, снабженные регулятором громкости общим для обоих телефонов. Так как низкоомный громкоговоритель работает при низком напряжении, то этого напряжения недостаточно для обеспечения высокоомными телефонами громкости, необходимой для людей с пониженным слухом. Поэтому между гнездами телевизора и такими телефонами необходимо подключить низкочастотный повышающий трансформатор с коэффициентом трансформации 10÷20 Очень удобен для этого малогабаритный выходной трансформатор от карманного радиоприемника, имеющий коэффициент трансформации 9

Напряжение, подаваемое на громкоговоритель телевизора, обычно содержит фон частотой 50 и 100 Гц, который не воспроизводится громкоговорителем, но будет слышен в телефонах, создавая помеху для прослушивания телепередачи В связи с этим, а также тем, что разборчивость речи улучшается при ослаблении низких звуков, наушники присоединяют к телевизору последовательно с конденсатором. Изменением емкости этого конденсатора регулируют тембр звука в области низших частот Проще всего это можно сделать с помощью тумблера или переключателя на три положения (рис. 76,*а*). На рис. 76,*б* показана схема подключения низкоомного

телефона (сопротивление обмотки 15—100 Ом); переключатель имеет три положения. Конденсаторы лучше использовать на низкое рабочее напряжение, так как они имеют меньшие габариты. В случае низкоомного телефона конденсаторы должны быть большой емкости, поэтому удобнее использовать малогабаритные электролитические конденсаторы (типов ЭМ или К-50-6), соединив последовательно выводы одинаковой полярности у двух таких конденсаторов указанной емкости, применяемых вместо одного бумажного. Длину шнура следует сделать 4—4,5 м. Регулятор громкости лучше поместить на расстоянии 0,5—0,7 м от низкоомного телефона.

Регулятор тембра (в случае использования тумблера или переключателя) может быть расположен рядом с регулятором громкости или у штепсельной вилки; регулировать тембр приходится сравнительно редко. Трансформатор следует расположить у штепсельной вилки

Приложение 3

ЗАРЯД СУХИХ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Использованные марганцево-цинковые и ртутно-цинковые сухие элементы, имеющие напряжение 0,7—0,8 В, восстанавливают пропусканием через них асимметричных импульсов тока обоих направлений (рис. 77,*а*). Такая форма тока получается в однополупериодном выпрямителе, у которого параллельно диоду включен конденсатор, обеспечивающий прохождение через элемент импульсов тока обратного

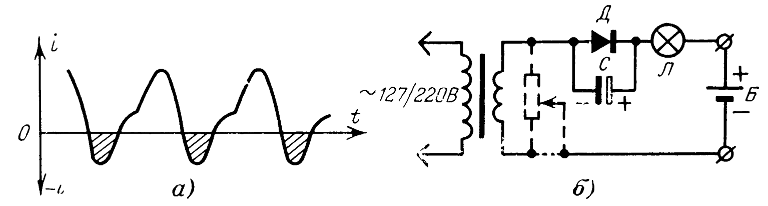


Рис. 77. Устройство для заряда сухих элементов.
а — форма зарядного тока; *б* — схема устройства.

направления (по отношению к зарядному току, пропускаемому диодом). Эти отрицательные импульсы тока (отмеченные штриховкой на осциллограмме рис. 77,*а*) имеют большое значение в восстановлении электрической активности электрохимических материалов гальванического элемента.

Схема зарядного устройства показана на рис. 77,*б*. Диод серии Д7 может быть с любой буквой. Шунтирующий его конденсатор — электролитический (типа К50-6 на рабочее напряжение 10—25 В) или бумажный. Лампочка от карманного фонаря (2,5 В, 0,2 А) служит предохранителем и в некоторой мере ограничивает ток через элемент.

Устройство рассчитано на заряд одного элемента, но можно также заряжать несколько элементов одновременно, соединив их последовательно и увеличив соответственно напряжение на вторичной обмотке трансформатора. На каждый марганцево-цинковый элемент должно приходиться 1,9—2,1 В переменного напряжения от понижающего трансформатора; на каждый ртутно-цинковый элемент 1,6—1,7 В. Если в имеющемся понижающем трансформаторе напряжение боль-

ше необходимого, то его можно уменьшить, включив последовательно с первичной обмоткой бумажный конденсатор, емкость которого следует подобрать; рабочее напряжение этого конденсатора должно соответствовать напряжению осветительной сети. Можно изменить напряжение на вторичной (понижающей) обмотке трансформатора, подключив переменный резистор сопротивлением 25—50 Ом (см. рис. 77,*б*). Время заряда сухого элемента зависит от степени его разряда и может достигать 15—20 ч.

В процессе заряда марганцево-цинкового элемента на его поверхности иногда может выступить электролит. Его следует удалить смоченной в воде тряпочкой. Ртутно-цинковые элементы следует заряжать на открытом воздухе.

Приложение 4

ИНДИКАТОР ЗВУЧАНИЯ ЗВОНКОВ ДЛЯ ПЛОХОСЛЫШАЩИХ

У большинства людей с пониженным слухом в области частот выше 1—2 кГц потеря слуха максимальна. Поэтому они плохо воспринимают или совсем не слышат звуки, производимые телефонным и дверным звонками. Представление о спектральном составе звуча-

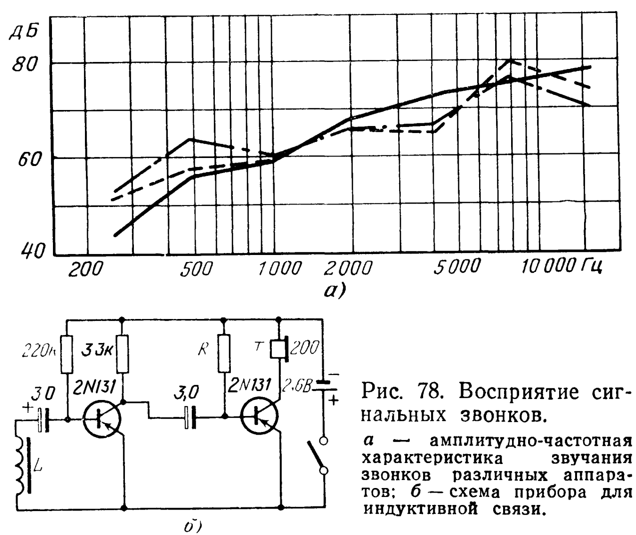


Рис. 78. Восприятие сигнальных звонков.

а — амплитудно-частотная характеристика звучания звонков различных аппаратов; *б* — схема прибора для индуктивной связи.

ния телефонных звонков аппаратов ВЭФ и «Красная заря» дает амплитудно-частотная характеристика, показанная на рис. 78,*а*. Она получена измерением уровней звукового давления, создаваемых звонками в октавных частотных полосах и отнесенных к центральным частотам октав. Интенсивность звучания растет с повышением частот до 15 кГц.

Можно заменить или дублировать звучание звонка световым сигналом, причем сигнал должен быть очень ярким, чтобы его всегда мог заметить плохослышащий. Кроме световой индикации существуют еще два способа звуковой индикации звучания звонков.

Первый способ состоит в прокладке по квартире петли для индуктивной связи, в которую подается от осветительной сети через понижающий трансформатор переменный ток частотой 50 Гц. Подача тока должна совершаться при нажатии кнопки дверного звонка или включении телефонного звонка. Прием индуктированного сигнала плохослышащим проще всего осуществить с помощью малогабаритного усилителя на двух транзисторах, подобного выпущенному фирмой «Norris» (США) прибору специально для слушания при индуктивной связи (рис. 78,*б*). Необходимо только увеличить до 10 мФ емкость обоих конденсаторов. Катушка индуктивности *L* имеет 3000 витков, намотанных проводом ПЭ 0,07 мм на каркасе с ферритовым сердечником длиной 30—35 мм. Резистором *R* устанавливают ток через телефон или миниатюрный громкоговоритель 1,5 мА.

Второй способ индикации состоит в использовании малогабаритного усилителя с микрофоном, подобного слуховому аппарату, но во избежание ложного срабатывания индикатора от посторонних шумов усилитель должен иметь фильтр высших частот, устраняющий помехи на частотах до 1000—1500 Гц. На выходе усилителя включают реле, срабатывающее при звучании звонка и включающее местный генератор, вырабатывающий сигнал в диапазоне частот 500—1000 Гц. Сигнал воспроизводится наушником, присоединенным к этому генератору. Таким образом, в этой системе осуществляется простейшее транспонирование частоты звучания звонка.

Приложение 5

ПРИМЕНЕНИЕ СЛУХОВОГО АППАРАТА ДЛЯ СВЯЗИ ПОД ВОДОЙ

Измерения порогов слышимости у водолазов в воздухе и воде показали, что пороги слышимости в воде при тональных сигналах с частотой до 300 Гц ниже, чем в воздухе, т. е. острота слуха больше, так как воспринимался тональный звук меньшей интенсивности. В области частот 512—4096 Гц, наоборот, острота слуха меньше на 15—38 дБ. Водолазы были в легких шлемах с внутренней циркуляцией воздуха, создающих на 30 дБ меньший уровень шума, чем при открытом выходе пузырьков воздуха.

Снижение остроты слуха в воде объясняется наличием остаточного воздуха в слуховых проходах водолазов, при котором сказывается несоответствие волновых сопротивлений воды и воздуха, и несбалансированным статическим давлением на барабанные перепонки, возрастающим с глубиной. Измерение спектрального уровня громкой речи водолаза в воде показало его уменьшение также вследствие разницы волновых сопротивлений воздуха и воды. Этот уровень в области частот выше 1500 Гц оказывается ниже порога слышимости водолаза в воде и не обеспечивает ему достаточной разборчивости речи.

Для улучшения слышимости может быть применен слуховой аппарат карманного типа с двумя телефонами костной проводимости, в котором вместо микрофона использован цилиндрический гидрофон из титаната бария или цирконата титаната свинца (ЦТС) (последний обеспечивает бо́льшую чувствительность). Усилитель слухового аппарата должен на частоте 1000 Гц иметь усиление около 95 дБ.

Использование слухового аппарата повысило остроту слуха водолазов в диапазоне частот 500—4000 Гц на 43—26 дБ и позволило им разговаривать в отсутствии шума на расстоянии до 15 м.

Приложение 6

ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ СЛУХОВЫХ АППАРАТОВ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Тип аппарата	Для какой проводимости	Максимальное акустическое усиление, дБ	Максимальный выходной уровень, дБ	Напряжение питания, В	Потребляемый ток, мА	Размеры, мм	Масса, г	Цена, руб.
Карманные:								
АК-1	Воздушной и костной	54 (64)	128	1,25	≤5 (10)	66×44×15	75	12—70
АК-2*	Воздушной и костной	70	132	3	≤12	100×56×19	160	14—50
АК-3*	Воздушной и костной	50 (60)	120	1,25	≤5 (12)	64×47×16	70	21—50
АК-4*	Воздушной и костной	60	128	2,5	≤12	80×50×16	80	17—00
АК-5	Воздушной и костной	70	130	3	≤10	110×60×15	160	25—00
БК-1	Воздушной и костной	55	124	1,5	≤7	52×82×19	125	11—00
БК-2*	Воздушной и костной	50	122	1,25	≤5	60×40×16	50	13—00
БК-4	Воздушной	≥50 без АРУ ≥44 с АРУ	115 с АРУ	1,25	≤5	76×54×20	50	14—70
„Заколка" ВЗ 1	Воздушной и костной	50	122	1,25	≤5	60×21×17	30	16—50
Слуховые очки:								
ВО-2	Воздушной	40	114	1,25	≤5		—	19—00
ВО-2ЛП*	Воздушной	40	114	1,25	≤10		—	35—00

Примечания: 1. Все выпускаемые в Советском Союзе слуховые аппараты должны соответствовать ГОСТ 10893-69.

2. Частотный диапазон всех слуховых аппаратов, указанных в табл. 4, не менее 400—3000 Гц при неравномерности 30 дБ.

3. Максимальный выходной уровень звукового давления на частоте 1000 Гц соответствует коэффициенту нелинейных искажений 10% при уровне звукового давления у микрофона слухового аппарата 60 дБ.

4. Все карманные слуховые аппараты содержат индукционную катушку для разговора по телефону.

5. Масса слуховых аппаратов указана вместе с источниками питания.

6. В скобках указаны максимальные акустическое усиление и потребляемый ток при питании от двух кадмиево-никелевых аккумуляторов общим напряжением 2,5 В.

7. Напряжение питания 1,5 и 3 В означает, что слуховой аппарат питается от одного или двух сухих элементов № 326.

8. Слуховые аппараты, помеченные звездочкой, сняты с производства в 1974 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Вахитов Я. Ш.** Слух и речь. Л., Изд. ЛИКИ, 1973. 122 с.

2 **Цвикер Э., Фельдкеллер Р.** Ухо как приемник информации. М, «Связь», 1971. 256 с.

3. **Покровский Н. Б.,** Расчет и измерение разборчивости речи. Связьиздат, 1962 391 с.

4. **Римский-Корсаков А. В.** Электроакустика. М., «Связь», 1973 272 с.

5. **Быстшановска Т.** Клиническая аудиология. Польское государственное медицинское изд-во (на русском языке), 1965. 240 с.

6 **Нейман Л. В.** Анатомия, физиология и паталогия органов слуха и речи. М, Учпедгиз, 1959. 172 с.

7. **Ундриц В. Ф., Темкин Я. С., Нейман Л. В.** Руководство по клинической аудиологии. Медгиз, 1962. 324 с.

8. **Ермолаев В. Г., Левин А. Л.** Практическая аудиология. М., «Медицина», 1969. 240 с.

Михаил Михайлович Эфрусси

СЛУХОВЫЕ АППАРАТЫ И АУДИОМЕТРЫ

Редактор А. П. Ефимов
Редактор издательства Г. Н. Астафуров
Обложка художника А. А. Иванова
Технический редактор Л. А. Молодцова
Корректор И. А. Володяева

Сдано в набор 21/VII 1975 г. Подписано к печати 25/XI 1975 г.
Т-17386 Формат 84×108 1/32 Бумага типографская № 1
Усл. печ. л. 5,04 Уч.-изд. л. 5,98
Тираж 25 000 экз. Зак. 272 Цена 27 коп.

Издательство «Энергия», Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10

Московская типография № 10 Союзполиграфпрома при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли Шлюзовая наб., 10.

Цена 27 коп.